

LA THÉORIE DE LA PHYSIQUE

CHEZ LES PHYSICIENS CONTEMPORAINS

THÈSE

Présentée à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris

PAR

ABEL REY

Professeur agrégé de Philosophie au lycée de Beauvais

PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

LIBRAIRIES FÉLIX ALCAN ET GUILLAUMIN RÉUNIES
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1907

Tous droits de traduction et de reproduction réservés

LA THÉORIE DE LA PHYSIQUE

CHEZ LES PHYSICIENS CONTEMPORAINS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LA THÉORIE DE LA PHYSIQUE

CHEZ LES PHYSICIENS CONTEMPORAINS

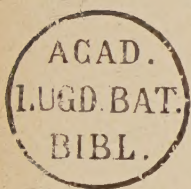
THÈSE

Présentée à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris

PAR

ABEL REY.

Professeur agrégé de Philosophie au lycée de Beauvais



PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

LIBRAIRIES FÉLIX ALCAN ET GUILLAUMIN RÉUNIES
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1907

Tous droits de traduction et de reproduction réservés

PRÉFACE

« La Science, et la science seule, peut rendre à l'humanité ce sans quoi elle ne peut vivre, un symbole et une loi. »

RENAN, *Avenir de la Science*, p. 31.

I. — RAISONS GÉNÉRALES QUI ONT SUGGÉRÉ CE TRAVAIL ET LA MÉTHODE QUI Y EST SUIVIE

La science physique possède une place privilégiée parmi les sciences. Elle se trouve être le point de départ général de toutes les sciences de la nature : de la chimie et de la biologie, car chimie et biologie essayent constamment de remonter aux grands principes de la physique. Et, de toutes les sciences de la nature, de toutes les sciences qui restent intimement en contact avec les choses concrètes, la physique est de beaucoup la plus parfaite. Elle forme déjà un système logique et cohérent de connaissances, où les doutes et les lacunes sont relativement peu sensibles. Aussi la physique est-elle en quelque sorte le modèle que cherchent à imiter, le type que voudraient réaliser toutes les sciences du réel.

Cette position centrale qu'elle occupe dans les connaissances humaines, ce vestibule d'accès qu'elle a construit pour nous permettre d'arriver à toute connaissance positive particulière sur les choses de la matière et de la vie, devait attirer sur elle, plus que sur toute autre science, l'attention des philosophes et, d'une façon générale, l'attention de tous ceux qui, pour un motif ou un autre, désiraient critiquer la science. C'est au fond la légitimité de la science

positive, la possibilité d'une connaissance de l'objet, que l'on discute en cherchant les limites et la valeur de la science physique.

Le mouvement fidéiste et anti-intellectualiste des dernières années du XIX^e siècle prétend, en faisant de la science une technique utilitaire, s'appuyer sur une analyse de la science physique plus exacte et plus profonde que toutes celles qui avaient été faites jusque-là. Il exprimerait l'esprit général de la physique contemporaine, et résumerait les conclusions nécessaires d'un examen impartial de ses propositions, de ses méthodes et de ses théories.

Volontiers, les partisans de cette conception affirment que la méthodologie et la philosophie traditionnelles des sciences physiques se sont lourdement trompées et ont substitué à la physionomie réelle de la physique, à la pensée unanime des physiciens, une vue de l'esprit, une idéologie dialectique, qui prouve à la fois une ignorance complète de la physique telle que la font les savants, et un esprit intellectualiste dont la rigueur montre trop facilement l'artifice. La physique, connaissance réelle et concrète, est, à ce qu'ils disent, bien loin de cette chimère rationaliste ; elle a, au contraire, toute l'indécision vague, confuse et tumultueuse qui, paraît-il, est caractéristique des choses vivantes et réelles. Le discours du philosophe abstracteur de quintessence nous apporte des mots à la place des choses, et des mots qui signifient à peu près le contraire des choses.

Vérifier si ces assertions étaient fondées, voilà l'idée directrice qui m'a poussé à entreprendre ce travail. Ce but m'assignait à la fois la méthode qu'il me fallait suivre et le domaine que je devais explorer.

La méthode ne pouvait être qu'une enquête auprès des physiciens contemporains. Et là, la tâche était sin-

gulièrement facilitée par ce fait que certains physiciens — et des plus considérables — s'occupent aujourd'hui de la philosophie de la physique en donnant à ce mot le sens, presque positiviste, d'un point de vue général, synthétique et critique sur les grands problèmes que renferme une science, sur sa méthode et sur son devenir.

Il ne me restait alors, pour atteindre mon but, qu'à chercher les opinions actuellement soutenues par les physiciens sur la nature et la structure de leur science, et à essayer d'en présenter le développement systématique, en suivant ceux qui s'étaient attachés spécialement à ces questions et me semblaient les avoir le plus complètement et le plus clairement exposées.

Une méthode purement originale et dialectique n'aurait pas répondu aux conditions du problème. Non que cette méthode proprement philosophique n'ait pas sa légitimité et son intérêt, et que la métaphysique ne puisse avoir d'objet à côté de la science ; mais il s'agissait ici de voir si certaines conclusions avaient été exprimées par des savants, ou pouvaient être déduites de leurs idées, et il ne s'agissait que de cela.

Je crois, personnellement d'ailleurs, que les connaissances scientifiques sont *toute* la connaissance humaine. La synthèse organisatrice des sciences, vues et comprises comme les savants les voient et les comprennent, faite dans un esprit qui serait l'esprit scientifique général, voilà la conception « philosophique », très voisine du positivisme, qui aurait mes préférences. Une recherche, d'après la méthode historique et comparée, sur l'esprit général de la physique contemporaine et sur la théorie actuelle de cette science, est une partie de la matière nécessaire à une telle philosophie ¹.

1. Le présent travail n'est, d'ailleurs, que la première partie d'un travail plus étendu que j'espère continuer.

2. — CONCLUSIONS QUE CE TRAVAIL SEMBLE AUTORISER

A l'aide de cette méthode, je dis tout de suite que, parti d'abord avec l'idée que la science physique était une construction arbitraire et contingente, parce que cette idée était dans l'air et que l'intellectualisme et le rationalisme se trouvaient assez méprisés par ma génération, je suis arrivé à des vues absolument opposées en cherchant, aussi scrupuleusement que je le pouvais, ce que pensaient les physiciens de la physique. J'ai cru pouvoir établir comme conclusions de cette contribution à l'histoire et à la logique des sciences :

1° Que tous les physiciens admettaient un fonds sans cesse accru de vérités nécessaires et universelles.

Ce travail répond à la conception de la philosophie que j'indique ici, et que je développerai dans l'introduction qui va suivre : la philosophie, continuation et prolongement des sciences, — non point seulement synthèse, au sens *positiviste* du mot, mais généralisation dégageant, par une méthode positive des données fournies à chaque instant par les sciences, ce que l'homme peut apercevoir ou supposer touchant la nature de la connaissance ou la nature des choses.

Il ne s'agit ici que de la première de ces deux tâches, par rapport aux données qu'apporte la science physique. Je compte tenter la seconde — plus complexe encore — et déterminer ce que la philosophie de la nature, la théorie de la matière peut et doit demander à la science physique. Il faudra examiner l'esprit général de cette science, non plus au point de vue de sa forme et de sa méthode, mais au point de vue de son contenu général, établir ses lois les plus compréhensives, c'est-à-dire ses principes fondamentaux et ses hypothèses sur la constitution des phénomènes physiques, — toujours à la suite des savants, bien entendu.

On peut remarquer qu'un travail analogue (il est déjà poursuivi depuis quelque temps d'une façon assez systématique pour la mathématique) pourra être exécuté en ce qui concerne les autres sciences. Ainsi pourront être rassemblés les éléments d'une philosophie vraiment positive. Celle-ci sortirait alors dans une certaine mesure de la période des systèmes individuels, et s'appuierait sur un travail collectif. Elle se rapprocherait de l'aspect général de tout savoir positif, au moins dans sa substructure, et en faisant abstraction des interprétations personnelles qui, vraisemblablement, achèveront toujours, dans le domaine du sentiment et de la croyance, la métaphysique. Elle progresserait, comme la science, par collaborations simultanées et successives.

2° Que ce fonds de vérités était l'ensemble des résultats purement expérimentaux.

3° Que l'arbitraire — et très étroitement limité par ce fonds stable, définitif — n'existait que dans les constructions théoriques, qui toutes laissaient ce fonds intact et nous le faisaient retrouver intact, parce qu'elles n'étaient que des instruments de travail et de systématisation : ce qui n'est pas réduire leur rôle, car elles se trouvent être ainsi le ressort de toute découverte et de tout progrès dans la science physique. Elles constituent le domaine de l'hypothèse, c'est-à-dire (pour me servir d'une expression prise en un autre sens) des *approximations successives de la vérité* : ce qui suppose une vérité dont elles approchent de plus en plus. Leur divergence ne provient donc que de leur destination scientifique particulière et du tour d'esprit individuel de chaque savant.

4° Qu'enfin il est légitime de parler d'un esprit général, homogène des sciences physiques, et qu'il permet à la fois une logique positive future des sciences physiques, et une philosophie *humaine* de la matière et de sa connaissance.

Ce mot humain implique une restriction relativiste ? Peut-être, mais j'avoue n'avoir pu trouver de sens assignable pour mon humaine pensée, à une pensée qui ne serait pas purement humaine. Savoir humain savoir universel, ou savoir *sub specie æterni*, me paraissent pour l'homme des expressions synonymes ; car, s'il acquiert d'aventure une connaissance qui ait une valeur plus haute, à moins d'une révélation indiscutable, il n'en saura rien.

Décembre 1905.

LA THÉORIE DE LA PHYSIQUE

CHEZ LES PHYSICIENS CONTEMPORAINS

INTRODUCTION

DÉLIMITATION DU PROBLÈME ET INTÉRÊTS DIVERS QU'IL PRÉSENTE

I. — *Objet de l'étude : son intérêt historique ; — contribution à l'histoire des sciences par l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Deux problèmes principaux dans l'histoire des sciences : l'histoire du contenu de la science, et l'histoire de l'esprit de la science. — 2. Point de vue particulier de ce travail : l'esprit des sciences physiques contemporaines en général, en insistant particulièrement sur la question centrale des idées des physiciens contemporains sur la valeur objective de leur science.

II. — *Intérêt philosophique des études relatives à l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Rapports de la science et de la philosophie. — 2. La philosophie a pour objet essentiel de fonder en droit la connaissance qu'élabore, en fait, la science. — 3. La continuité entre la science physique actuelle de la philosophie.

III. — *Rapports de la logique des sciences avec l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Conception traditionnelle de la logique des sciences. — 2. Conception qu'il sera utile de lui substituer. — 3. Conclusion générale sur la logique des sciences et l'utilité par rapport à elle du présent travail.

IV. — *Intérêt actuel d'une étude sur l'esprit général de la science physique.*

1. Généralités sur l'état de la physique contemporaine. — 2. La crise de la physique contemporaine. — 3. La question que l'état général de la physique contemporaine amène à poser : La physique est-elle une science objective ? — Intérêt général de cette question.

I. — OBJET DE L'ÉTUDE : SON INTÉRÊT HISTORIQUE

1. — L'histoire des sciences pose deux problèmes essentiels.

On peut d'abord s'attacher à déterminer le développement du contenu de la science : faire l'histoire des décou-

vertes et des théories, ou la monographie des savants, chercher la filiation des découvertes et des théories, ou les influences réciproques des savants, considérer le rapport du développement scientifique avec les besoins du milieu naturel et social, avec l'histoire de la civilisation et même les exigences de la pensée.

On peut ensuite essayer de faire l'histoire de l'esprit scientifique, de l'atmosphère dans laquelle a été créée et développée la science.

Les travaux et les monographies concernant la première question sont nombreux ; les savants se sont chargés eux-mêmes la plupart du temps de nous renseigner très utilement non seulement par des mémoires spéciaux, mais encore par des travaux d'ensemble plus ou moins étendus. Peut-être serait-il à désirer que ces travaux fussent faits avec une meilleure méthode historique, et mieux reliés à l'histoire générale, et surtout à l'histoire économique. Mais enfin, on a, à tout le moins, des matériaux nombreux, sûrs, une excellente documentation de première main.

Il en est tout à fait autrement du second problème, surtout pour la période contemporaine.

Les histoires de la philosophie grecque, de la pensée grecque, les histoires de la philosophie de la Renaissance, nombreuses et remarquables, se sont chargées, on peut dire à peu près complètement, encore qu'il serait désirable d'avoir des travaux plus méthodiquement spécialisés vers cet objet, de nous renseigner sur l'esprit scientifique de l'antiquité classique et de la Renaissance. Les savants de l'antiquité grecque et les savants de la Renaissance sont les philosophes de l'antiquité grecque et les philosophes de la Renaissance ; cela explique que l'esprit scientifique se soit développé en corrélation intime avec l'esprit philosophique et que l'histoire de l'un soit aussi l'histoire de l'autre. Il serait absolument artificiel et ce serait préparer toutes espèces de méprises et d'erreurs que de faire l'histoire de l'esprit scientifique en l'isolant de l'esprit philosophique.

Mais, déjà à partir du XVIII^e siècle, la science et la philosophie s'engagent de plus en plus dans les voies diver-

gentes : la division du travail l'exige, ainsi que la division des méthodes. L'une se réserve le terrain de l'expérience, ou de la démonstration mathématique, l'autre le terrain de la dialectique. On fait abstraction de leurs rapports, et bien rares sont alors les travaux qui cherchent à dégager l'esprit scientifique, l'esprit général de la science. Les historiens de la science considèrent cette tâche comme relevant de l'histoire de la philosophie, et s'occupent surtout de l'histoire du contenu de la science et de la filiation des découvertes. Les historiens de la philosophie trouvant la philosophie très spécialisée oublient à peu près de consulter les savants.

2. — N'y aurait-il pas intérêt alors, à la fois au point de vue de l'histoire des sciences et au point de vue de l'histoire de la philosophie, d'une manière plus générale au point de vue de l'histoire des idées, à porter ses regards du côté de l'histoire de l'esprit scientifique, intimement lié à la philosophie, digne de ce nom, soit qu'il influe sur elle, comme il est manifeste, soit qu'il soit influencé par elle — ce qui est peut-être plus fréquent qu'on ne pense.

C'est une contribution partielle à cette étude que j'ai d'abord l'intention de tenter ici. J'examinerai les idées générales des physiciens actuels en insistant sur la valeur objective qu'ils accordent aux sciences physico-chimiques. L'histoire pour être sérieuse ne peut procéder d'abord que par monographies. Celle-ci n'étudiera pas l'esprit de la science moderne tout entière, mais seulement l'esprit de la science contemporaine. Elle n'étudiera pas l'esprit de toute la science contemporaine, mais seulement l'esprit des sciences physico-chimiques. Elle n'étudiera pas l'esprit des sciences physico-chimiques également sous tous ses aspects, mais elle prendra pour centre les idées des physiciens relatives à la valeur objective de la physique. Elle s'efforcera de les dégager à travers les conceptions générales que les physiciens se font de la physique.

Il est vrai que cette question est capitale dans toute forme du savoir, et qu'elle a le mérite d'être, de toutes les ques-

tions générales qui se posent relativement à l'esprit des sciences physico-chimiques contemporaines, celle qui a surtout attiré l'attention des savants, et qui a été le plus agitée par les philosophes. La monographie que je tente a donc une importance générale. Cette importance paraît plus grande encore, si l'on songe que les sciences physico-chimiques, par leurs méthodes, leurs progrès, leurs résultats, leur rôle dans la science moderne, occupent — et maintenant plus que jamais — une position prédominante. Ne dit-on pas d'une discipline qui veut être aussi positive que possible, dans un domaine quelconque du savoir, qu'elle est une méthode physique ? Et n'est-ce pas la physique qui fournit à ceux qui se défient des solutions métaphysiques, les bases des réponses qu'ils essayent aux questions générales relatives à l'Univers ?

Si donc le sujet que j'ai entrepris de traiter est défini avec précision, et restreint en d'étroites limites, il n'en a pas moins une importance philosophique générale.

II. — INTÉRÊT PHILOSOPHIQUE DES ÉTUDES RELATIVES A L'HISTOIRE DE L'ESPRIT SCIENTIFIQUE

1. — On a souvent considéré — et la philosophie idéologique et dialectique devait amener fatalement à cette conclusion — que la philosophie était un ordre d'études isolé et indépendant, une spéculation particulière qui n'avait rien ou à peu près rien de commun avec les sciences et les techniques positives. Je crois cette idée très fausse. La philosophie sérieuse, celle qui a pour elle la tradition des grands philosophes et qui a été vraiment féconde, est l'œuvre des savants et elle continue la science parce qu'elle n'est qu'un point de vue nouveau sur les mêmes objets, et un point de vue complémentaire auquel amène nécessairement l'étude scientifique la plus positive. Celle-ci ne progresse que parce qu'elle veut pousser toujours plus loin qu'elle n'est strictement fondée à le faire ses principes d'explication : la découverte est à ce prix. Mais au moment même où la science dépasse, par ses hypothèses, les étroites frontières de la

certitude rigoureuse, elle se mêle à la philosophie et peu à peu se fond en elle, souvent par des transitions à peine sensibles.

La philosophie, au lieu de fournir du dehors et d'en haut des explications qui toujours risquent d'être incompetentes, des jugements de valeur *a priori*, n'a-t-elle pas alors, si elle veut conserver son importance, à utiliser toute la riche documentation que lui fournit la science, à la suivre d'abord et à la continuer ensuite ? De même qu'elle peut établir une théorie intéressante et nécessaire des choses en synthétisant d'une façon critique les plus hautes généralités auxquelles s'élèvent les hypothèses scientifiques et en exprimant l'esprit, en cherchant les conditions et le terme, de même, dans le domaine de la connaissance, elle a sa tâche utile et nécessaire en reprenant d'un point de vue synthétique et critique les réflexions des savants sur leurs méthodes, en remontant aux caractères, aux conditions, aux principes de l'esprit scientifique. Par cette double tâche, dans chacune desquelles elle obéira à sa double nécessité, synthétique et critique, elle contribuera à créer, à entretenir et à purifier cette atmosphère, sans laquelle la science ne peut vivre et progresser, et qui, dès qu'elle est troublée trop violemment par un esprit contraire ou même indifférent à l'esprit scientifique, laisse la science périliter. La philosophie est surtout la défense et l'exaltation de l'esprit scientifique : tâche périlleuse et grave de conséquences, car il s'agit en somme de la civilisation, telle qu'elle s'est développée dans le monde gréco-latin, puis dans l'Europe occidentale, depuis la fin du moyen âge. *

2. — Cette conception de la philosophie peut au premier abord paraître étroite et sectaire, en tout cas fort partielle. Ne supprime-t-elle pas le libre examen, n'accepte-t-elle pas un principe d'autorité : la science ? N'érige-t-elle pas en dogme la foi dans la science ? Il me semble que oui, mais il me semble qu'aussi, à y bien réfléchir, on est forcé, avec Renan, d'admettre que la science seule peut fonder aujourd'hui une croyance et imposer une loi. La philosophie ne peut avoir d'autre tâche que l'unification et la critique

de notre savoir, ou si l'on aime mieux, pour donner une définition qui ne rappelle aucune école et puisse être acceptée par les métaphysiciens de race, elle a pour tâche de savoir le plus que nous pourrons, de reculer toujours plus loin les bornes de l'inconnu et même, à la limite, de le supprimer! Or, jusqu'ici, les sciences, et elles seules, nous ont donné des connaissances incontestées, capables de rallier tous les esprits normaux et de bonne foi dans les limites très modestes où elles sont encore enfermées. Les sciences, et elles seules, nous ont donné des procédés de contrôle et de vérification sur nos connaissances, et des connaissances satisfaisantes pour tous les esprits qui veulent se plier à ces procédés de contrôle et de vérification. Et, de la science, il serait bien difficile, étant donnée la variété des champs auxquels ce mot s'applique, de donner une autre définition que celle-ci : l'ensemble des connaissances qui, seules, sont susceptibles, en fait, de rallier toutes les raisons humaines.

Je me demande alors comment, dans tout effort pour *savoir*, on pourrait ne pas prendre pour point de départ les enseignements et les *hypotheses* de la science, et se soustraire à son autorité. J'ai souligné le mot *hypotheses*, car seules les sciences nous ont montré jusqu'ici des hypothèses qui se vérifient, des idées préétablies susceptibles de contrôle, et dont certaines ont été, en fait, contrôlées. La raison en est simple. L'hypothèse scientifique est une suggestion des faits dans un esprit rompu à leur mouvement et aux méthodes capables de donner des résultats. De toutes les hypothèses concevables, ce sont encore les hypothèses scientifiques qui ont le plus de chances de ne pas être un jour, au moins partiellement, des hypothèses, ou d'amener, par leurs critiques, à des vérités.

Dans le domaine de la connaissance, du savoir, la science est donc le point de départ fécond, le point de départ unique. Nous voulons de la vérité, et seule, dans les limites si étroites qu'on le veuille de notre chétive faculté de connaître, elle nous a donné ce que nous pouvons appeler de la vérité, c'est-à-dire quelque chose que nous nous accordions tous à reconnaître pour de la vérité ; et que

tous, nous puissions utiliser comme tel dans ceux de nos actes qui modifient les phénomènes naturels, ou nous amènent à leur contact. Quand il s'agit de connaître, il n'y a qu'une autorité, mais il faut s'y soumettre : la science.

La philosophie, qui est un effort pour connaître, doit donc accepter, à moins de se mentir à elle-même, les données de la science. Et à moins de trahir sa propre fin, la défense de la science est son premier but, quand elle se propose comme critique des valeurs, et qu'elle entend à ce titre critiquer la connaissance; de même que les résultats de la science et ses hypothèses sont son point de départ quand elle entreprend de dépasser la connaissance scientifique pour arriver à une représentation totale et plus complète de l'Univers.

Il ne suffit pas de dire que la science vit et se développe, et qu'elle n'a point besoin d'une aide étrangère. L'histoire est là pour prouver le contraire. La science s'atrophie et meurt dans un milieu psychologique, dans une civilisation qui lui sont hostiles. La science ne peut pas être une servante, dans le domaine de la connaissance; elle ne peut que le commander ou bien elle n'est plus elle-même, elle décline rapidement. Ce n'est donc pas une entreprise vaine que d'examiner dans leur esprit général les conceptions de la physique contemporaine, et de chercher à en dégager la philosophie qu'elle implique.

3. — Au reste, on peut s'en rendre compte par un mouvement qui s'est manifesté récemment dans le domaine scientifique en général, et en particulier dans le domaine de la mécanique et des sciences physico-chimiques. Le domaine scientifique n'est pas si distinctement séparé du domaine philosophique qu'on l'a cru et qu'on l'a affirmé sur la foi d'un positivisme incomplet, ou d'un fidéisme ingénieux à chercher de nouveaux modes de certitude. Il y a une continuité directe entre la science et la philosophie, à la fois, par la critique méthodologique à laquelle se livrent les savants, et par les hypothèses générales qui sont les plus précieux instruments, les instruments spécifiques, de ses méthodes. La philosophie dans la recherche sur la

nature des choses comme dans la critique de la connaissance, peut parfaitement se présenter comme une promotion de la science. Les physiciens, loin de répudier les spéculations philosophiques, les tenants et aboutissants philosophiques de leurs sciences, s'y complaisent d'une façon avouée, et multiplient les travaux philosophiques. Il est aisé de voir du reste qu'ils l'ont toujours fait, mais ils le faisaient d'une façon latente ou semi-consciente, alors qu'ils le font en pleine connaissance de cause, bien conscients de philosopher, et trouvant à cette tâche non seulement un intérêt, mais une nécessité.

Le temps est passé où des physiciens mal renseignés pouvaient railler la vanité de la philosophie. A mesure que l'hypothèse, sous toutes ses formes, sous tous ses déguisements même, se montrait distinctement l'inspiratrice féconde des découvertes et des procédés de découvertes, à mesure aussi la science envahissait le domaine raillé de la philosophie, et entre savants c'est à qui aujourd'hui revendiquera explicitement le titre de philosophe. Cette limite commune, ou plutôt cette large région d'indécise frontière entre la physique, entre la science, et la philosophie, a toujours existé, mais jamais on ne s'en est rendu mieux compte qu'aujourd'hui.

Il est vrai que les savants du milieu du xix^e siècle qui se moquaient aimablement des philosophes avaient peut-être leur raison. La philosophie, répudiée par la science qui continuait à faire cependant sans le savoir de bonne philosophie, s'éloignait comme à plaisir du terrain solide des connaissances et des hypothèses scientifiques. Ce ne sera pas un des moindres services rendus par la science contemporaine à la pensée humaine, d'avoir, en rétablissant le lien traditionnel entre la philosophie et la science du xvi^e et du xvii^e siècle, compris que la philosophie lui était d'une nécessité vitale. Et en même temps elle aura rendu à la philosophie elle-même le signalé service de la ramener des sommets nuageux sur la terre ferme, et de lui offrir, avec une mission indispensable, une méthode et un objet positifs.

III. — RAPPORTS DE LA LOGIQUE DES SCIENCES AVEC L'HISTOIRE DE L'ESPRIT SCIENTIFIQUE

1. — Ce n'est pas seulement à la philosophie que cette contribution à l'histoire des sciences et de l'esprit scientifique pourra peut-être rendre quelques services, c'est encore à la logique des sciences, si toutefois l'on conçoit la logique comme une recherche positive, et si on la différencie d'avec ce point de vue général sur les choses auxquelles Renan réservait le nom de philosophie, pour s'en tenir au point de vue strictement scientifique.

Sous le nom d'épistémologie, ou de logique des sciences, on entend d'ordinaire la discussion dialectique et assez lointaine des moyens que la connaissance scientifique met en œuvre. La valeur de l'expérience, la valeur de la raison, la valeur des idées générales, la valeur des catégories de l'entendement, la valeur des principes premiers sur lesquels s'appuient les théories scientifiques, la valeur de l'intelligence, en somme la nature de l'esprit considéré comme fonction de connaissance, et la nature de l'expérience, considérée comme objet de cette connaissance, voilà les problèmes que l'on voit d'ordinaire agités par ces spéculations. Elles ont toutes une tendance plus ou moins nette vers la métaphysique; et les solutions proposées sont toutes inspirées par l'esprit métaphysique. Je suis loin de nier l'intérêt et même l'utilité de la métaphysique. Elle est l'aboutissant nécessaire de tout effort vers une conception totale de l'Univers, donc de tout effort continu et sans timidité vers la connaissance. Mais la métaphysique n'a de prix qu'à condition d'être un aboutissant. Elle doit venir après la science et non avant la science, ni pendant la science. Elle ne doit ni prévenir ni intervenir. Aussi, avant d'entreprendre la métaphysique de la connaissance, et de la science, et avant d'aborder la métaphysique ontologique qui traite de la nature de l'objet à connaître et de l'agent de la connaissance, il est non seulement légitime, mais nécessaire d'es-

sayer une étude d'un ordre tout à fait différent, bien qu'elle y achemine.

J'entends par logique tout autre chose : un art rationnel fondé sur des études scientifiques, ou analogue à l'art rationnel de la morale, fondé sur une science des mœurs, et tel que l'a défini Lévy-Brühl. Nous cherchons, pour des besoins spéculatifs et pratiques, à savoir. L'instinct de curiosité est la manifestation rudimentaire de cet effort; sa fin est dans la connaissance aussi fidèle que possible des faits, de tous les faits qui peuvent, d'une façon ou d'une autre, affecter notre conscience, les rapports que ces faits soutiennent étant considérés eux-mêmes comme des faits. Cette fin n'a, dans la conception que je propose, aucun sens transcendant. C'est une constatation de fait indiscutable, je crois; la logique doit partir de ce fait : l'homme veut connaître, comme la médecine doit partir de cet autre fait : l'homme veut se bien porter.

Les efforts que l'homme fait pour connaître sont plus ou moins heureux : c'est encore un fait; l'erreur, la probabilité, la vérité sont des termes qui constatent ce fait. On pourrait en dire autant des efforts que l'homme fait pour se bien porter.

On appelle vérité, le résultat heureux, dans le domaine de la connaissance : celui qui nous donne la représentation fidèle, la science exacte des faits que nous cherchons à connaître, comme on appelle santé le résultat heureux dans le domaine médical.

La médecine est l'art rationnel qui se propose de déterminer les règles à suivre dans la recherche de la santé. Pareillement, la logique sera l'art rationnel qui se propose de déterminer les règles à suivre dans la recherche de la vérité.

Ces derniers mots ont besoin d'être précisés. « Recherche de la vérité » peut signifier : *invention, découverte scientifique*, ou bien, une connaissance étant proposée comme vraie, quels que soient les moyens qui l'aient fait acquérir, *l'ensemble des procédés par lesquels on prouvera qu'elle est vraie*.

J'ai cru ¹ un moment qu'une étude attentive des faits pourrait permettre d'établir des règles se rapportant aussi bien à l'invention qu'à la preuve. Il me semble aujourd'hui que cette croyance était prématurée. Les études que j'ai poursuivies m'amènent à cette conclusion : la découverte échappe à peu près à toutes lois précises. Elle est le privilège fortuit du génie. Mais il n'en est pas de même de la preuve.

Toute science, au contraire, s'établit et se développe en fixant ses moyens de preuve. Ses méthodes sont essentiellement la mise en œuvre de ces moyens. La critique de la science — celle dont s'occupent non les métaphysiciens, mais les savants — ne vise qu'à résoudre le problème de la valeur et des limites de sa force probante. Il faut donc, à ce que je crois, en revenir partiellement à la vieille définition de la logique. Elle est l'*art rationnel de la preuve*. Elle établit les règles grâce auxquelles une démarche de la pensée pourra nous donner la vérité, et, conjointement, grâce auxquelles elle pourra s'approcher de cette limite en prenant une mesure précise de l'approximation. Elle systématisera en un mot les règles qui nous permettent d'évaluer, pratiquement et en fait, la valeur de nos connaissances, leur force probante.

Il se déduit de là tout naturellement que l'habitude d'estimer à leur juste valeur nos connaissances, d'après le maniement des règles proposées par l'art logique, constituera une véritable hygiène de l'intelligence. A son école, l'intelligence acquerra, en même temps que l'esprit critique nécessaire, le mérite de ne jamais rien avancer sans avoir établi son affirmation d'après les méthodes capables d'administrer la preuve, dans l'ordre de connaissances dont fait partie la proposition considérée.

Ceci posé, comment constituer l'art logique ? Certains considérant la raison comme une faculté transcendante, et un *primum datum*, croient qu'en développant *a priori* ses lois essentielles, nous arriverons peu à peu à établir une

1. Cf. un article de *La Revue philosophique*, « Ce que devient la Logique ».

méthode universelle pour établir indiscutablement la vérité de nos conclusions. D'autres, au contraire, croient que ce résultat ne pourra être obtenu que par une méthode analogue à celle qu'ont suivie tous les autres arts rationnels : arts du mécanicien, de l'ingénieur, du chimiste, médecine, hygiène, etc. Le médecin établit les règles de la thérapeutique ou de l'hygiène, d'après les lois scientifiques découvertes par le physiologiste et le biologiste, d'après des expériences de physiologie ou de biologie. Un art rationnel n'est jamais qu'un ensemble de règles déduites de lois scientifiques, qui, comme chacun sait, sont des lois de prédiction : savoir, c'est prévoir, et par suite pouvoir.

Je suis avec les partisans de cette dernière conception.

L'art logique doit donc établir des règles d'après les lois découvertes par ceux qui étudient scientifiquement l'organisme psychologique de la connaissance, et le développement historique de cette connaissance. Il est l'art qui s'appuie directement sur la science des connaissances, comme la morale est l'art qui s'appuie sur la science des mœurs. Il a comme la morale ce désavantage, et à un plus haut degré encore, que la science des connaissances est à peu près inexistante. Aussi, la logique est-elle comme la morale un art empirique, un art dans la période pré-scientifique, donc prétechnique.

Les règles de logique formelle, c'est-à-dire de l'exposition des idées en général, du discours, quel que soit l'objet de ce discours, ne seront justifiées, positives, que lorsqu'elles pourront être, les unes comme les autres, déduites de lois psychologiques bien établies. On comprendra alors qu'on ne puisse raisonner autrement d'une façon concluante, puisque notre organisme intellectuel ne pourra pas fonctionner autrement. De même l'ingénieur qui construit une machine thermique applique les lois de la physique et sait bien qu'il ne peut pas procéder autrement pour obtenir le rendement maximum.

Mais à côté de la logique du discours, de la logique formelle, il y aura encore à construire la logique de toutes les démarches de la pensée, dans tous les ordres de la con-

naissance, c'est-à-dire la logique des différentes sciences.

Ici, c'est moins la psychologie générale, que l'histoire détaillée de la constitution des méthodes scientifiques, des résultats qu'elles ont donnés, et par suite, l'estimation par les gens compétents de leur force probante, qui doit préparer l'art logique. Celui-ci doit donc être précédé d'une histoire des sciences, en particulier d'une histoire des conceptions et des institutions des savants au sujet des méthodes, là où la science est assez avancée pour que les méthodes suscitent des recherches fructueuses. La philosophie, surtout la philosophie américaine, a donné le nom d'épistémologie à des recherches transcendantes sur les principes et les conditions générales des sciences. Ce mot réduit à une acception positive pourrait désigner heureusement la recherche documentaire, l'ensemble des observations historiques nécessaires pour fonder une vue d'ensemble exacte des différentes sciences, une science positive des sciences. Et la recherche historique relative à l'esprit général de chaque science serait alors une des grandes sections de cette épistémologie historique.

3. — Ce que je me propose en premier lieu de faire ici, c'est précisément une contribution à ces recherches historiques relatives à l'esprit scientifique ; c'est par conséquent, aussi, une étude préparatoire à la logique des sciences physiques. Je chercherai, d'un point de vue essentiellement historique, à présenter un tableau synthétique de la conception générale des sciences physiques d'après les physiciens contemporains. J'essayerai de dégager les grandes directions entre lesquelles semblent se partager les esprits des savants, et la tendance générale qui, peut-être, se dessine sous les discussions et les polémiques. Je veux faire œuvre d'historien, mais d'historien conscient des services qu'une logique positive pourrait tirer de l'histoire des sciences. Je ne perdrai jamais de vue le but méthodologique auquel cette histoire peut contribuer.

Si je me borne à la période contemporaine, c'est que les physiciens ne se sont appliqués à la discussion suivie et minutieuse de leurs méthodes que dans cette période,

excepté à l'époque de la Renaissance, où d'ailleurs la discussion se borna à la critique de la scolastique et fut faite plutôt du point de vue de la science en général que du point de vue particulier des sciences physico-chimiques : ils revendiquèrent surtout la liberté des recherches scientifiques, le libre examen, contre le principe d'autorité. Nous sommes, je crois, tout à fait au début de la période qui permettra de constituer la technique de la physique, au début de la période de la critique particulière, spéciale, d'une pratique restée jusque-là assez vague et empirique. Ceci explique l'attention qui brusquement s'est portée sur les sciences physiques ; elle fut attirée par des dissensions qui paraissent profondes et réelles sur la conception générale que les savants eux-mêmes se font de ces sciences. Ceci explique encore les conclusions sceptiques que l'on s'est cru autorisé à en tirer, que l'on s'est empressé d'en tirer, et ce qu'on peut appeler la crise de la physique contemporaine.

En résumé, la logique des sciences a essentiellement pour buts de préciser les méthodes scientifiques, afin d'établir un contrôle rigoureux sur leurs résultats, et aussi en vulgarisant ces méthodes, d'éduquer l'esprit d'une façon scientifique, car ce n'est pas au savant rompu à la pratique des méthodes, ou créateur des méthodes, qu'une logique des sciences est destinée ; c'est à ceux qui n'ont point cette éducation spéciale, et pour les faire participer à ses avantages.

Peut-être dira-t-on que cette tâche n'est pas très utile, puisqu'elle n'est en quelque sorte qu'une étude de seconde main. Pourquoi ne pas abandonner complètement la logique des sciences, et laisser la parole aux savants, uniquement aux savants, et à leurs œuvres, qui sont, elles, des œuvres de première main ? N'est-ce pas les doubler bien vainement ? L'argument est spécieux. Pourtant, si la logique des sciences est l'œuvre des savants, encore faut-il la dégager de l'œuvre des savants. Ceux-ci sont loin d'être toujours d'accord, et dans ces dernières années, la critique n'a guère fait que constater, en les exagérant, leurs divergences. Peut-être eût-il été plus fécond de chercher en quoi

et jusqu'où ils s'accordaient, de préciser la nature et les limites et la portée de leurs différends. Le logicien des sciences, bien que sa tâche soit commandée par les travaux des savants sur la critique générale des sciences et de leurs méthodes, a sa tâche à lui, facilement et nettement délimitable. Il faut qu'il coordonne et qu'il compare les travaux de première main, et qu'il cherche au-dessus des querelles intestines ou dans celles-ci, la « voie royale » de l'évolution scientifique, le permanent et le durable. Après avoir procédé en historien et en analyste impartial, il faut qu'il cherche à construire la synthèse que permettent les documents qu'il a dépouillés, sans épouser les querelles particulières, autant du moins qu'il le pourra. Le savant spécialisé, engagé à fond dans sa doctrine et dans ses vues particulières, ne voyant que cette doctrine et que les vues auxquelles il s'est rallié, parce qu'elles lui semblent préférables à toutes autres, ne peut évidemment plaider que pour elles. Ses réflexions sur les méthodes sont toujours plus ou moins apologétiques. Il crée ou il suit une conception *individuelle*. Le logicien des sciences a besoin qu'on cherche, en faisant la science (historique) de ces sciences, le général.

Le présent travail peut contribuer à ce but, en essayant de déterminer sur quoi s'accordent les théories que les physiciens contemporains ont faites de leur science.

IV. — L'INTÉRÊT ACTUEL D'UNE ÉTUDE DE L'ESPRIT GÉNÉRAL DE LA SCIENCE PHYSIQUE

1. — Ceux qui auraient voulu, il y a une cinquantaine d'années, décrire l'état des sciences physico-chimiques et augurer de leur direction générale dans l'avenir, se seraient facilement trouvés d'accord. Les tentatives faites dans ce but ont toutes des conclusions analogues, et les travaux scientifiques des deux premiers tiers du XIX^e siècle sont empreints d'un esprit identique. Il y a bien des divergences de détail, des luttes mémorables entre les savants : en optique, par exemple, ou dans la théorie de la chaleur.

Mais la façon même dont s'engagent et se suivent ces combats montre que les deux camps ont des idées directrices communes. On croit à une explication purement mécanique de la nature; on postule que la physique n'est qu'une complication de la mécanique : une mécanique moléculaire. On ne diffère que sur les procédés employés pour réduire la physique à la mécanique, et sur les détails du mécanisme. Chaque savant cultive à sa manière le champ de la science, mais ils travaillent un terrain de même nature avec les mêmes instruments et les mêmes semences, et ils obtiennent des récoltes semblables.

Aujourd'hui, semble-t-il, le spectacle que nous offrent les sciences physico-chimiques a complètement changé. Une extrême diversité a remplacé l'unité générale, et non plus seulement dans les détails, mais dans les idées directrices et fondamentales.

S'il serait exagéré de dire que chaque savant a ses tendances particulières, on doit constater que, comme l'art, la science, et surtout la physique, a ses écoles nombreuses, aux conclusions souvent éloignées, parfois opposées et hostiles.

Il est devenu impossible de prendre immédiatement une idée d'ensemble des sciences physico-chimiques; peut-on même dire que ces sciences forment un ensemble bien défini et laissent apercevoir une idée directrice générale?

2. — On comprend alors dans son principe et dans toute son étendue ce qu'on a appelé la crise de la physique contemporaine.

La physique traditionnelle, jusqu'au milieu du xix^e siècle, postulait que la physique n'avait qu'à se prolonger pour être une métaphysique de la matière. Elle donnait à ses théories une valeur ontologique. Et ces théories étaient toutes mécanistes. Le mécanisme traditionnel représentait donc, au-dessus et au-delà des résultats de l'expérience, la connaissance *réelle* de l'univers matériel. Ce n'était pas une expression hypothétique de l'expérience; c'était un dogme.

Les critiques du mécanisme traditionnel qui furent for-

mulées pendant toute la seconde moitié du xix^e siècle, infirmèrent cette proposition de la réalité ontologique du mécanisme. Sur ces critiques s'établit une conception philosophique de la physique qui devint presque traditionnelle dans la philosophie de la fin du xix^e siècle. La science ne fut plus qu'une formule symbolique, un moyen de repérage, et encore, comme ce moyen de repérage variait selon les écoles, on arriva vite à trouver qu'il ne repérait que ce qu'on avait au préalable façonné pour être repéré. La science devint une œuvre d'art pour les dilettantes, un ouvrage d'art pour les utilitaires : attitudes qu'on avait bien le droit de traduire universellement par la négation de la possibilité de la science. Une science, pur artifice pour agir sur la nature, simple technique utilitaire, n'a pas le droit, à moins de défigurer le sens des mots, de s'appeler science. Dire que la science ne peut être que cela, c'est nier la science, au sens propre du mot.

L'échec du mécanisme traditionnel, ou plus exactement la critique à laquelle il fut soumis, entraîna cette proposition : la science, elle aussi, a échoué. De l'impossibilité de s'en tenir purement ou simplement au mécanisme traditionnel, on inféra : la science n'est plus possible. On pouvait avoir un ensemble de recettes empiriques ; on pouvait même les systématiser pour la commodité de la mémoire ; on n'avait pas une *connaissance* des phénomènes auxquels s'appliquaient ce système ou ces recettes.

« La science rationnelle — terme extrême de la connaissance discursive — n'est qu'un jeu purement formel d'écriture sans signification intrinsèque¹.

3. — Le chapitre d'histoire des sciences dont il va s'agir est donc d'un très grand intérêt et d'une majeure importance.

La science physique est-elle possible, au sens usuel des mots ? Pouvons-nous croire en la possibilité d'une physique qui serait un savoir effectif ? Ou bien devons-nous renoncer à cette idée ? C'était déjà le problème que Kant se posait

1. LE ROY, *Revue de métaphysique et de morale*, septembre 1899, p. 550.

dans la préface de la *Critique de la Raison pure*. A cette époque, il s'agissait de le résoudre par la dialectique, par une discussion d'idées.

Ici il s'agit, non de le résoudre, mais de l'étudier, conformément à des tendances méthodologiques modernes, par la simple inspection des faits, pour voir s'il comporte une solution, et si oui, laquelle. Ce n'est pas par une analyse intrinsèque de concepts, mais c'est par une histoire impartiale des différentes conceptions des savants, que sera examinée la question.

La crise actuelle de la physique est-elle un incident temporaire et extérieur, dans l'évolution de la science, ou la science tourne-t-elle brusquement sur elle-même et abandonne-t-elle définitivement le chemin qu'elle a suivi, parce que d'un accord unanime et inévitable le chemin ne peut plus être suivi ?

Voilà ce à quoi on essaiera de répondre.

On pourra dire alors si, en fait, la science peut encore garder son sens véritable, son sens traditionnel d'ailleurs ; ou si, décidément, le mot science recouvre une réalité qui n'a rien de commun avec un « savoir réel », si elle n'est plus qu'un repérage pratique.

4. — On conçoit facilement l'intérêt actuel de cet examen. Si l'art logique est l'ensemble des moyens destinés à former et à guider l'intelligence dans ses démarches, il doit viser à donner surtout une attitude générale d'esprit qui favorisera l'acquisition et le développement normal de la connaissance, si l'on veut, la santé intellectuelle. C'est la morale de la connaissance. Or, les sciences physico-chimiques sont l'effort tenté par l'homme pour expliquer la nature sensible, ce qui tombe sous les sens, ou plus implicitement, comme l'indique le mot « physique », ce que le sens commun entend par « nature ». L'importance de cet effort a été aperçu de tout temps. Epicure, déjà, comptait sur sa physique pour débarrasser l'esprit de son instinct aveugle de croyance, des préjugés, des superstitions, du mystère au nom duquel on peut tout affirmer : ce qui énervera, faussera, détruira les forces de compréhension et

de connaissance. Et tout le monde accordera que le positivisme moderne n'a été rien autre que la tentative d'étendre la méthode et la conception générale de la science, construite sur le modèle de la physique, à tous les départements de la connaissance humaine sans exception, si bien qu'esprit positif ou esprit scientifique sont devenus couramment synonymes.

Si ces sciences qui, historiquement, ont été essentiellement émancipatrices, sombrent dans une crise qui ne leur laisse que la valeur de recettes techniquement utiles, mais leur enlève toute signification au point de vue de la connaissance de la nature, il doit en résulter, dans l'art logique et dans l'histoire des idées, un complet bouleversement. La physique perd toute valeur éducative; l'esprit positif qu'elle représentait est un esprit faux et dangereux. Raison, méthode rationnelle, méthode expérimentale, doivent être considérées, en bonne conscience, comme n'ayant aucune valeur de savoir. Ce sont des procédés d'action, ce ne sont pas des moyens de connaissance. On peut les développer pour certains résultats pratiques, mais en marquant bien qu'ils n'ont de valeur que dans cet étroit domaine. La connaissance du réel doit être cherchée et donnée par d'autres moyens. Il faut prévenir l'esprit contre la dangereuse illusion du rationalisme et de l'esprit dit « scientiste ». Il importe que l'on sache que par là on tourne le dos au réel, que la physique, c'est l'ignorance et non la connaissance de la véritable nature. L'émancipation de l'esprit, telle qu'elle a été conçue depuis Descartes grâce à la physique, est une erreur, et combien nuisible ! Elle pèserait encore sur la plupart des esprits de toutes ses forces. Il faut aller dans une autre voie, et rendre à une intuition subjective, à un sens mystique de la réalité, au mystère en un mot, tout ce que l'on croyait lui avoir arraché.

S'il apparaît au contraire que rien dans le développement actuel de la physique n'autorise à considérer cette crise comme fatale et irrémédiable, si tout nous incline à croire que le problème de la connaissance de la nature, par suite de la possibilité des sciences physico-chimiques,

reste intact, dans la forme même où il a évolué depuis la Renaissance jusqu'au positivisme, la méthode rationnelle et positive reste la suprême éducatrice de l'esprit humain, dans le domaine qui lui est accessible, bien entendu. Donner à l'esprit une attitude scientifique, au sens où l'entendaient le positivisme et la physique positive, reste la condition nécessaire et suffisante de la santé intellectuelle. La physique est l'école à laquelle on apprend à connaître les choses.

Ce travail n'est donc pas seulement un travail théorique, mais il peut encore répondre à des préoccupations graves et actuelles.

PREMIÈRE PARTIE

L'ANALYSE DES DOCTRINES

LIVRE PREMIER

LE MÉCANISME TRADITIONNEL

CHAPITRE PREMIER

Exposé sommaire du mécanisme traditionnel.

1. La Physique traditionnelle avait l'ambition de remonter de cause en cause jusqu'à la matière réelle. La théorie physique faisait partie intégrante de la science expérimentale et avait une valeur ontologique. — 2. La théorie physique était par suite construite tout entière avec des éléments figurés. Ces éléments figurés n'étaient autres que les éléments retenus par la mécanique. — 3. Importance de ces caractères pour différencier la théorie physique d'alors et les formes actuelles de la physique théorique. — 4. En quel sens il faut entendre que la théorie physique de la première moitié du XIX^e siècle avait une valeur ontologique. — 5. Exposé sommaire des grandes lignes de cette physique : a) Ses éléments ; b) Ses principes, statique, dynamique des solides et des fluides, pesanteur ; c) Constitution de la matière : théorie cinétique des gaz ; d) Théories mécaniques de la chaleur, de la lumière, du son, de l'électricité des phénomènes chimiques ; e) Conclusions : généralités sur l'esprit général de la physique au milieu du XIX^e siècle.

1. — Il y a cinquante ans, les grandes théories faisaient partie intégrante de la science expérimentale ; elles en étaient l'achèvement. La méthode alors pouvait se résumer ainsi : en partant de faits particuliers donnés par l'observation quotidienne, on découvre des rapports nécessaires entre ces faits ; si bien que les uns paraissent les *causes* immédiates qui produisent les autres ; ces rapports de cause à effet constituent les lois, qui expliquent les principales propriétés offertes par l'observation. Mais ces rapports de cause à effet peuvent à leur tour être considérés comme

des faits nouveaux. Les expliquer, ce sera trouver de nouveaux rapports plus généraux qui relieront, par leur intermédiaire, les faits, dont on était parti de prime abord, à des causes plus lointaines, et ainsi de suite. Comme on le dit couramment encore dans la logique classique, la physique remontait de cause en cause, et croyait trouver dans les causes les raisons d'être des phénomènes. Plus ou moins consciemment, la cause était toujours réalisée, hypostasiée; elle était conçue, il fallait qu'elle fût conçue d'une façon matérielle. La théorie physique n'était donc rien autre que l'ensemble des causes matérielles des phénomènes. Elle n'était pas interprétée *more geometrico*, mais *more physico*, dans un sens presque littéral. Elle correspondait à une réalité.

La preuve de cette correspondance ne pouvait pas être demandée directement à l'intuition expérimentale, on le conçoit aisément. Mais le mécanisme traditionnel avait tourné la difficulté d'une façon élégante. Profondément pénétré de l'esprit expérimental, malgré l'audace de généralisations dans lesquelles il ne faisait point toujours exactement le départ de l'hypothèse, il s'adressait encore, pour assurer la valeur objective de ses théories, mais d'une manière indirecte cette fois, à l'expérience.

Il s'attachait à montrer qu'elles étaient des postulats de l'expérience, logiquement, clairement réclamés par elle. Et comment cela? Parce que l'expérience vérifiait une ou plusieurs conséquences particulières, déduites correctement de la théorie. Celle-ci ne pouvait plus être alors une hypothèse; elle devenait une *réalité expérimentale*.

Cette confusion entre la théorie physique et la réalité expérimentale, cette valeur ontologique de la théorie physique, cette réalisation objective de l'hypothèse, est la caractéristique éminente du mécanisme traditionnel jusqu'au milieu du XIX^e siècle. On verra que c'est le point sur lequel ont porté les efforts victorieux de la critique, puisque le mécanisme actuel l'a lui-même abandonné. Cette constatation était donc essentielle dans cette étude. Si dans la physique contemporaine on peut constater des écoles, si les

philosophies ont ensuite pu étayer leurs doutes — ou leurs croyances — sur une critique de la physique, ce sont les hypostases du mécanisme traditionnel qui l'ont permis.

2. — Ce caractère d'objectivité donné, grâce à cet artifice, à la théorie physique, bien que son ampleur dépassât de beaucoup l'expérience objective, en entraînait un autre : la théorie physique était tout entière construite avec des éléments figurés. Il était naturel en effet qu'une réalité objective, expérimentalement constatée, ou qui pouvait être considérée comme telle, pût se représenter d'une façon intuitive, sensible, concrète. La théorie était donc un mécanisme, et comme, d'autre part, il était bien évident que ce mécanisme n'était pas perçu directement dans l'expérience, puisqu'on le concluait indirectement de certaines vérifications expérimentales, la plupart des pièces et des liaisons qui composaient ce mécanisme ne pouvaient être que des pièces et des liaisons cachées, invisibles. Mais l'expérience, prétendait-on en même temps, n'en forçait pas moins à les admettre comme réelles.

Enfin cet agencement figuratif qu'était la théorie physique n'était pas un mécanisme au sens vulgaire du mot. Il était un mécanisme, au sens scientifique et rigoureux, par ce fait que ses éléments et les lois de leur agencement étaient les éléments et les lois de la mécanique rationnelle, les éléments et les lois du mouvement considéré comme la composante fondamentale, universelle des phénomènes naturels.

3. — Ces deux derniers caractères méritent aussi de retenir notre attention, non que, comme le premier, ils marquent une opposition radicale entre ce que fut ou ce que tendait à être la physique il y a cinquante ans et ce qu'elle est ou tend à être aujourd'hui, mais parce qu'ils fixent le point où bifurquent les physiciens contemporains. Le mécanisme actuel conserve ces deux caractères (le second, il est vrai, avec des modifications), tout en abandonnant l'idée qu'ils aient, comme les théories qui les précèdent, une valeur ontologique quelconque. Les physiciens qui ne sont pas mécanistes, — soit qu'ils substituent une autre théorie

au mécanisme, l'énergétique, et qu'ils rejettent tout élément figuré, — soit qu'ils ne tiennent plus absolument à une théorie exclusive de toute autre, par une sorte de *criticisme physique*, — rejettent, au contraire, de leurs théories ces deux derniers caractères. Selon chacune de ces deux tendances dissidentes (qui, avec le mécanisme, se partagent tous les physiciens contemporains), ou ils ne veulent plus d'éléments figurés, ou ils les trouvent tout à fait secondaires, contingents et irréels. Selon chacune de ces deux tendances dissidentes encore, ou ils ne veulent plus que la mécanique rationnelle fournisse les bases des sciences physico-chimiques, ou ils n'accordent à ce mode de construction qu'un caractère arbitraire et accidentel.

Le néo-mécanisme, au contraire, s'il a refusé le premier des legs du mécanisme traditionnel, a accepté les deux autres : la figuration de la théorie et le mouvement comme repère universel et élément fondamental de cette figuration, la continuité du monde mécanique et du monde physique.

Le mécanisme traditionnel présentait donc, il y a une cinquantaine d'années, une physique aisément reconnaissable à des caractères bien tranchés. Il les avait hérités de toutes les hypothèses générales qui s'étaient succédé depuis le xvi^e siècle et qui se rattachaient à trois grandes idées centrales : le cinétisme cartésien, l'atomisme de Huyghens et des Bernouilli, le dynanisme de Newton. Et quelles que fussent les tendances des physiciens entre ces thèses, ils ne contestaient jamais les caractères essentiels que nous venons de décrire. Ceux-ci délimitaient le champ clos des luttes intestines qui, toujours plus ou moins partielles, ne semblaient pas déchirer l'unité organique de la physique générale.

4. — Certes, il serait assez facile de distinguer plusieurs courants divergents dans cette physique. La conception de Lagrange n'est pas celle de Laplace ou de Poisson; la première se distingue de la seconde, plus directement newtonienne, par la considération de forces fictives de liaisons. Pour Lagrange, les corps « sont des milieux continus dont les divers éléments impénétrables les uns aux autres se

gènent mutuellement... », en sorte que la présence de chacune de ces parties oppose un obstacle au mouvement des parties contiguës et constitue pour elle une liaison... Pour Poisson, comme pour Boscovitch, « les corps ne sont continus qu'en apparence ; en réalité, ils sont formés de points matériels isolés¹. » Il ne peut plus être question alors de forces de liaison, puisque chacun de ces points matériels est isolé et libre, mais il agit sur les points voisins, par des forces réelles, les actions moléculaires. Dans la manière de Lagrange, plus géométrique, « les systèmes étudiés sont soumis non seulement à des forces extérieures ou à des attractions mutuelles dépendant de la gravité universelle, mais ils sont assujettis à des liaisons² » ; dans l'autre, à prétentions plus objectives et plus physiques, aux forces réelles que considérait la première, « il faut joindre les actions moléculaires qui s'exercent en chaque couple de points³ » et qui remplacent les forces fictives de liaison. Mais « il faut bien remarquer que ces deux mécaniques sont équivalentes pour qui ne tient compte que de leurs conséquences⁴ ». Dans la pensée de Poisson, sa conception ne faisait que serrer de plus près la nature intime des choses.

Ces deux manières faisaient intervenir, à côté de la figure et du mouvement, les notions de masse et de force ; cette dernière notion répugnait à un très grand nombre d'esprits comme un retour inavoué à la métaphysique, à une qualité occulte de la scolastique. Aussi préféraient-ils continuer les traditions de la physique cartésienne ou atomistique, en substituant à la notion de force le mouvement et le choc, surtout après la découverte de l'équivalent entre les quantités de chaleur et le travail mécanique (théorie cinétique des gaz, théorie mécanique de la chaleur, théories électro-optiques de Maxwell).

1. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (*Revue générale des Sciences*), 1903, p. 128.

2. *Id.*, p. 129.

3. *Id.*, p. 254.

4. *Id.*

Mais, là encore, que l'on imagine de toutes pièces certains mécanismes, dont les mouvements obéissent à des lois analogues à celles des phénomènes naturels, ou que l'on se borne, sans préciser ces mécanismes, à chercher pour ces phénomènes des formules analogues aux formules mécaniques, les conséquences s'accordent avec la dynamique de Lagrange : « Si les formules auxquelles on a affaire peuvent être mises sous la forme imposée par Lagrange aux équations de la dynamique, les choses iront au mieux. Aux grandeurs qui caractérisent le système physique soumis à l'expérience, on pourra faire correspondre les variables et les vitesses qui fixent la figure et le mouvement d'un certain système mécanique, de telle sorte que les lois qui président aux transformations des deux systèmes s'exprimeront par les mêmes équations. Les rouages du système mécanique expliqueront alors les propriétés du système physique.

« Si d'ailleurs les formules qui condensent les lois des phénomènes expérimentalement étudiés ne se laissent point couler dans le moule creusé par Lagrange, la méthode analytique ne deviendra pas, pour cela, inefficace ; pour assimiler ces formules aux équations de la dynamique, elle supposera que le système renferme des masses inaperçues et des mouvements cachés ; d'ailleurs, comme rien ne vient préciser et limiter la nature, le nombre, la complication de ces masses et de ces mouvements, il semble bien qu'aucune sorte de formules ne pourra être tenue pour irréductible aux équations de la dynamique ; quelles que soient ces formules, il est toujours permis d'espérer que l'on pourra toujours les ramener aux lois de la mécanique, soit exactement, soit avec telle approximation que l'on voudra ¹ ».

5. — On peut donc dire, en caractérisant, grossièrement et d'un peu plus loin s'entend, la physique classique jusqu'à la période contemporaine, qu'elle tend à être une promotion de la mécanique analytique de Lagrange. La phy-

1. DUHEM, *Revue générale des Sciences*, 1903, p. 254.

sique était traditionnellement exposée à partir de cette mécanique, et en supposant d'abord les abstractions que comporte cette mécanique. Il s'agissait essentiellement de présenter une théorie des phénomènes naturels, en évitant d'introduire autant que possible des éléments nouveaux à côté de ces éléments considérés comme les éléments les plus simples, les plus clairs auxquels nous fasse remonter la considération de la nature matérielle. La mécanique rationnelle établissait donc les conditions nécessaires et suffisantes de l'explication physique. Aussi convient-il d'en résumer les points de vue généraux, comme ils étaient *couramment* présentés. Comte pour cela est un bon guide.

a) Comte avait remarqué que le nom de mécanique était tout à fait impropre pour désigner son objet. « Les philosophes allemands, dit-il (à la suite de Kant), pour éviter cet inconvénient, ont créé la dénomination beaucoup plus philosophique de *phoronomie*, employée dans le traité d'Hermann, et dont l'adoption générale serait très désirable ¹ ».

Ce mot *phoronomie* exprime très clairement ce dont s'occupe la mécanique classique : les lois qui régissent les *changements locaux*, les variations de position dans l'espace, et seulement ces variations ; le mouvement, au sens courant du mot. Ces lois sont en effet l'unique objet de la mécanique, qui néglige toute autre espèce de variation : ce qui fait sa simplicité remarquable, ce qui fera aussi, d'après ses critiques, son insuffisance. Elle « se borne à envisager le mouvement en lui-même, sans s'enquérir de quelle manière il a été déterminé. Ainsi les forces ne sont autre chose, en mécanique, que les mouvements produits ou tendant à se produire ² ».

Les corps seront considérés comme passifs, c'est-à-dire comme ne pouvant pas eux-mêmes changer leur état de mouvement et de repos. Cette supposition peut être employée sans inconvénient, car il ne faut pas oublier que les mouvements sont simplement considérés en eux-mêmes,

1. A. COMTE, *Cours de Philosophie positive*, I, p. 445.

2. A. COMTE, *Cours de Philosophie positive*, I, p. 445.

sans aucun égard aux modalités de leur production réelle : « De là résulte évidemment, pour me conformer au langage adopté, la faculté de remplacer à volonté toute force par une autre d'une nature quelconque, pourvu qu'elle soit capable d'imprimer au corps exactement le même mouvement. D'après cette considération évidente, on conçoit qu'il est possible de faire abstraction des diverses forces qui sont réellement inhérentes aux corps et de regarder ceux-ci comme seulement sollicités par des forces extérieures, puisqu'on pourra substituer à ces forces intérieures des forces extérieures mécaniquement équivalentes¹... »

b) Ceci posé, trois principes établissent les relations les plus générales que l'on puisse envisager entre les corps ainsi considérés et les forces qui agissent sur eux, c'est-à-dire les mouvements qu'ils sont susceptibles de prendre : la loi d'inertie : « Tout corps soumis à l'action d'une force unique, qui agit sur lui instantanément, se meut constamment en ligne droite et avec une vitesse uniforme » ; la loi d'égalité constante et nécessaire entre l'action et la réaction : « Toutes les fois qu'un corps est mû par un autre d'une manière quelconque, il exerce sur lui, en sens inverse, une réaction telle que le second perd, en raison des masses, une quantité de mouvement exactement égale à celle que le premier a reçu » ; la loi de l'indépendance des mouvements coexistants : « Le mouvement général d'un système n'altère point les mouvements relatifs de ses parties. »

En s'appuyant sur ces trois principes, le problème général auquel se ramèneront toutes les questions mécaniques possibles consistera « à déterminer l'effet que produiront sur un corps donné différentes forces quelconques agissant simultanément, lorsqu'on connaît le mouvement simple qui résulterait de l'action isolée de chacune d'elles ; ou, en prenant la question en sens inverse, à déterminer les mouvements simples dont la combinaison donnerait lieu à un mouvement supposé connu² ».

1. *Id.*, p. 451.

2. *Id.*, p. 446.

L'application de ces forces peut, ou bien immobiliser le corps, le maintenir en équilibre, ou bien le mettre en mouvement. Le problème général se subdivisait donc en deux principaux problèmes secondaires : le problème de la statique et celui de la dynamique.

A l'aide du principe général de dynamique découvert par d'Alembert, toute recherche relative au mouvement d'un corps ou d'un système de corps peut être convertie immédiatement en un problème d'équilibre. « Lorsque, par les réactions que divers corps exercent les uns sur les autres en vertu de leur liaison, chacun d'eux prend un mouvement différent de celui que les forces dont il est animé lui eussent imprimé s'il eût été libre, on peut évidemment regarder le mouvement naturel comme décomposé en deux dont l'un est celui qui aura effectivement lieu, et dont l'autre, par conséquent, a été détruit. Le principe de d'Alembert consiste proprement en ce que tous les mouvements de ce dernier genre, ou, en d'autres termes, les quantités de mouvements perdues ou gagnées par les différents corps du système dans leur réaction, se font nécessairement équilibre, en ayant égard aux conditions de liaison qui caractérisent le système proposé¹. »

« La dynamique rappelée à la statique, l'ensemble de la science put acquérir un caractère d'unité désormais *irrévo- cable* », affirme Comte, qui ne prévoyait pas encore les critiques dont on va faire ici l'histoire. « Telle est, continue-t-il, la révolution éminemment philosophique exécutée par Lagrange dans son admirable *Traité de Mécanique analytique*, dont la conception fondamentale servira *toujours* de base à tous les travaux ultérieurs des géomètres sur les lois de l'équilibre et du mouvement... » Que l'on trouve pour la statique un principe aussi général que le principe de d'Alembert pour la dynamique et l'on a une mécanique admirablement cohérente et simple, point de départ de toutes les recherches sur la nature matérielle.

« En examinant les recherches des géomètres antérieurs sur les propriétés de l'équilibre, pour y puiser un prin-

1. *Id.*, p. 556.

cipe direct de statique qui pût offrir toute la généralité nécessaire, Lagrange s'est arrêté à choisir le *principe des vitesses virtuelles* devenu désormais si célèbre par l'usage immense et capital qu'il en a fait¹ ».

Les déplacements *virtuels* d'un système sont tous les déplacements infiniment petits qu'on peut imposer par la pensée à ce système, pourvu qu'ils soient compatibles avec la *nature* du système envisagé; cette nature étant définie par les équations de liaisons, qui expriment les impossibilités de déplacement qu'elle entraîne.

En appelant *moment virtuel* le produit de chaque force par sa vitesse virtuelle, c'est-à-dire par l'espace que parcourrait dans le sens de sa direction son point d'application, si on *supposait* que le système se déplacât d'une quantité infiniment petite, il faut et il suffit pour qu'il y ait équilibre que la somme algébrique des moments virtuels de toutes les forces qui agissent sur le système soit nulle².

Ce principe, comme le remarque Comte, est « *évidemment, par sa nature, tout aussi directement applicable aux fluides qu'aux solides* ».

Il n'y a qu'à modifier les équations de liaison, et à comprendre parmi les forces du système, une force nouvelle : la pression exercée sur chaque molécule. L'hydrostatique devient ainsi un chapitre de la statique des solides. Pour les fluides liquides, on supprimera la condition d'indéformabilité, et on exprimera que le volume est invariable (incompressibilité); pour les fluides gazeux, on supprimera cette dernière condition et on exprimera celle qui régit les volumes du fluide en fonction de la pression (loi de Mariotte).

« Cette conception paraîtra d'autant plus philosophique

1. *Id.*, p. 492.

2. « En appelant P, P', P'' , les forces proposées, et suivant la notation ordinaire de Lagrange, Pr, Pr', Pr'' , etc., les vitesses correspondantes, ce principe se trouve immédiatement exprimé par l'équation

$$Pdr + P'dr + P''dr + \dots = 0.$$

$$\text{ou plus brièvement } Pdr = 0$$

dans laquelle, par les travaux de Lagrange, la mécanique ration-

que, dans la statique ainsi traitée, on trouve une suite de cas en quelque sorte intermédiaires entre les solides et les fluides, lorsqu'on considère les questions relatives aux corps solides susceptibles de changer de forme jusqu'à un certain degré d'après les lois déterminées, c'est-à-dire quand on tient compte de la flexibilité et de l'élasticité, ce qui établit, sous le rapport analytique, une filiation naturelle qui fait passer par une succession de recherches presque insensible, des systèmes dont la forme est rigoureusement invariable à ceux où elle est au contraire éminemment variable ¹. »

De cette statique et de cette dynamique unilinéaires bien homogènes et sans lacunes, on déduit facilement le principe de la conservation du mouvement du centre de gravité. Les équations générales relatives au mouvement de translation coïncident avec celles qu'aurait fournies le mouvement isolé du centre de gravité, si on lui applique la masse totale du système et toutes les forces qui agissent sur ce système et si le système ne présente aucun point fixe : c'est la théorie des forces centrales qui simplifient si remarquablement toute la dynamique. Le théorème de la conservation des forces vives devient enfin un corollaire naturel de la formule générale de la dynamique.

Avec les seules formules de cette mécanique considérée, soit à un point de vue purement newtonien, soit à un point de vue atomistique, car les équations restent les mêmes, le mécanisme traditionnel a construit un système de l'univers matériel qui rend compte de toutes les lois physico-chimiques.

Il définit d'abord la constitution de la matière.

La matière nous apparaît sous trois états : solide, liquide et gazeux. Le plus simple de ces états pour l'observation et l'expérimentation, celui dont les lois sont connues le plus exactement, et le plus complètement, parce qu'elles sont relativement peu nombreuses, est l'état gazeux. C'est donc en partant de cet état que l'on essaiera de déterminer la

nelle tout entière peut être regardée comme implicitement renfermée. » (COMTE, *Id.*, p. 495.)

1. *Id.*, p. 527.

constitution de la matière. Une simple complication des conditions permettra de figurer avec les mêmes éléments l'état liquide ou l'état solide. Nous devons imaginer des éléments *qualitativement homogènes et identiques*, car toute différence qualitative ferait intervenir des facteurs particuliers irréductibles aux lois mécaniques. Il faut que ces éléments soient indéformables, impénétrables, parfaitement élastiques, car toute déformation, toute pénétration, toute perte ou toute production de force vive, d'après la mécanique que nous avons exposée, ne sont et ne peuvent être que des résultantes apparentes : en réalité, il n'y a qu'un changement de position dans les éléments ultimes. Raisonner autrement, c'est introduire des qualités spécifiques irréductibles dans la matière et leur faire jouer un rôle nécessaire, à côté des lois de la mécanique. Les éléments de la matière ne pourront donc différer que par la position, c'est-à-dire par la direction du mouvement, la vitesse et l'accélération, et encore ces différences ne dépendront pas de la nature intime des éléments, mais des influences extérieures que les autres éléments exercent sur eux (ou par le choc, ou par la pression d'un milieu absolument élastique, ou par des forces attractives et répulsives, selon qu'on admettra l'hypothèse atomiste, l'hypothèse cartésienne ou l'hypothèse newtonienne). En somme, une quantité invariable de force vive et une quantité donnée de mobiles (points d'application des forces), mobiles qui n'ont d'autre qualité que d'être des supports de mouvement, des choses qui se meuvent, et ne subissent d'autre transformation que dans la direction et la vitesse de ce mouvement, sous les influences externes : voilà à quoi devait se réduire l'image de la matière. Les seules lois auxquelles obéit cette matière sont alors — et alors seulement — celles de la mécanique. Or, cette constitution de la matière est bien celle que nous représente la théorie cinétique des gaz de Bernoulli et de Clausius :

« Imaginons un vase cylindrique à génératrices verticales dont l'orifice supérieur soit fermé par un piston chargé d'un certain poids. Remplissons ce vase d'une foule

de corpuscules très petits, agités en tous sens : ces corpuscules, frappant le piston à coups redoublés, l'empêcheront de descendre ; si l'on augmente le poids qui charge le piston, celui-ci s'abaissera jusqu'à ce que les petits corps, resserrés dans un espace moindre, le puissent soutenir par leurs chocs devenus plus fréquents. Nous avons sous les yeux un mécanisme qui simule les caractères les plus obviés d'un fluide élastique ; ne serait-il point capable d'en expliquer plus exactement les propriétés ?

« Supposons que les particules gazeuses soient des sphères parfaitement élastiques, se mouvant toutes avec la même vitesse ; imaginons, en outre, qu'elles soient si petites que le volume réellement occupé par ces particules soit négligeable par rapport au volume dans lequel elles se meuvent, du moins lorsque l'air se trouve dans les conditions atmosphériques habituelles ; admettons, enfin, qu'en deux circonstances où cet air est également chaud, ces particules se meuvent également vite. Nous trouvons sans peine qu'en diverses masses d'air également chaudes, la pression est proportionnelle à la densité conformément aux observations de Boyle, de Townley, de Mariotte. Cette loi, cependant, cesserait sans doute d'être exacte pour l'air très condensé, car le volume occupé par les molécules y deviendrait comparable au volume apparent de la masse gazeuse.

« Si l'on porte une masse de gaz d'un degré déterminé de chaleur à un autre degré également déterminé, la vitesse du mouvement moléculaire passe d'une valeur à une autre ; à densité égale, l'accroissement de la pression est proportionnel à l'accroissement du carré de la vitesse ; on retrouve ainsi cette proposition, qu'Amontons avait obtenue expérimentalement dès 1702 : En diverses masses d'air, de densités différentes mais également chaudes, les élasticités sont entre elles comme les densités. Les accroissements d'élasticité dus à un accroissement déterminé de chaleur sont proportionnels aux densités.

« Connaissant des valeurs proportionnelles aux élasticités manifestées en diverses circonstances par la même masse d'air enfermée dans un même espace, il nous est facile de

mesurer le degré de chaleur de cet air, pourvu que nous adoptions une définition conventionnelle d'un degré double, triple, etc... de chaleur ; définition qui est arbitraire et nullement imposée par la nature des choses ; on peut, ce me semble, prendre pour mesure du degré de chaleur, l'élasticité d'une masse d'air dont la densité soit toujours égale à la densité habituelle ¹ ».

Ainsi, par la théorie cinétique des gaz (qu'on peut très bien accorder soit avec les idées cartésiennes, ou les idées newtoniennes : les idées de Bosovich, par exemple, comme le fit Clausius dans son second mémoire), on entrevoit nettement le moyen d'ajouter à une hydrostatique, à une hydrodynamique et à une barologie fondées exclusivement sur la mécanique, une théorie de la chaleur, fondée, elle aussi, exclusivement sur la mécanique. La théorie de la chaleur ne supposera rien autre que les éléments, les principes et les théorèmes fondamentaux de la mécanique classique.

d) De là, la théorie mécanique de la chaleur. Elle avait été formulée par Descartes, adoptée pendant tout le xvii^e siècle et la plus grande partie du xviii^e siècle, mais elle a pris à la fois netteté et ampleur, après la découverte du principe de l'équivalence entre la chaleur et le travail : Helmholtz, en 1847, et Clausius, en 1850, la formulèrent d'une manière précise. La chaleur serait la force vive qui résulte des mouvements insensibles des molécules d'un corps ; elle serait la somme des produits de la masse de chaque molécule par le carré de sa vitesse.

La théorie de l'émission, aussi bien que la théorie ondulatoire de la lumière, aussi bien que la théorie vibratoire du son, étaient d'elles-mêmes conformes aux principes mécanistes. Les théories de l'électricité et du magnétisme, avec Coulomb, Ampère, Faraday, quoique plus vagues et moins bien assises, soit qu'elles considérassent des fluides impondérables, leurs courants, et des masses imprégnées par eux, soit qu'elles expliquassent les phénomènes

1. DUHEM, *Revue générale des Sciences*, 1903, p. 171-172.

électriques par les actions du milieu, et préparassent la grande systématisation de Maxwell et de Hertz, s'efforçaient avec un succès croissant de rentrer dans le concert de la physique traditionnelle.

Restait, pour épuiser le champ des sciences physico-chimiques, à donner une interprétation mécaniste des modifications chimiques. C'est ce que réalisa clairement la théorie des poids atomiques. Tout le monde sait que les différences qualitatives des corps simples sont représentées chimiquement par des différences de constructions moléculaires, et les différences qualitatives des composés peuvent être considérées comme réductibles à celles-ci.

Les phénomènes de substitution s'expliquent alors ainsi : « Chaque atome possède une ou plusieurs atomicités ; l'atomicité, c'est ce par quoi un atome peut s'attacher à un autre atome ; ou plutôt, pour que deux atomes s'unissent, il faut qu'un certain nombre d'atomicités du premier et un nombre égal d'atomicités du second se joignent chacune à chacune¹. » C'est donc la forme matérielle de l'atome qui peut expliquer les combinaisons dans lesquelles il peut entrer. « Plus tard, c'est encore à la forme de l'atome que l'on attribuera le pouvoir rotatoire si l'on veut interpréter la stéréochimie selon les doctrines atomiques ; on regardera l'atome de carbone comme ayant la forme tétraédrique ou, tout au moins, comme présentant les mêmes éléments de symétrie qu'un tétraèdre². » La stéréochimie continuera, bien qu'à un autre point de vue, l'œuvre du mécanisme traditionnel dans la chimie. Et quoi qu'elle ne soit pas considérée par ses promoteurs comme une explication, mais comme une figuration symbolique, on remarquera le sens qu'elle pourrait prendre si on l'interprétait d'une façon réaliste ; il a l'avantage de bien préciser la position du mécanisme traditionnel il y a une cinquantaine d'années, en l'opposant aux attitudes actuelles.

6. — Vers la fin de la première moitié du XIX^e siècle, la physionomie de la science physique est donc nettement des-

1. DUHEM, *Le Mixte*, p. 147.

2. *Id.*, p. 148.

sinée. On croit qu'elle est assise désormais sur des bases inébranlables; et je me suis servi des opinions d'Auguste Comte, parce que sa philosophie relativiste et sa crainte des hypothèses trop hasardées dans le champ des sciences physiques, accusent encore la très grande généralité de cette opinion. On sait, d'autre part, que Comte, quoiqu'on ait peut-être exagéré son manque d'érudition quant aux transformations contemporaines de la science, résume surtout, dans son cours de philosophie positive, l'opinion moyenne, traditionnelle, courante dans le monde scientifique ¹.

Une mécanique définitive, la mécanique analytique de Lagrange, une physique construite tout entière sur cette mécanique, voilà, en quelques mots, la conception que l'on croit alors ne pouvoir plus être considérée que *sub specie æterni*, dans le domaine des sciences de la nature. Cette opinion avait été préparée par des opinions analogues au sujet de la physique cartésienne et au sujet de la physique de Newton (Kant considère constamment celle-ci comme *la* physique, de même que la géométrie d'Euclide est *la* géométrie). La physique du mécanisme traditionnel était, en effet, l'achèvement et la résultante de l'évolution de la physique dans les deux siècles précédents.

Il y avait eu progrès; il ne semblait pas y avoir eu lacune. Les physiciens recueillaient et condensaient tous les résultats de leurs prédécesseurs dans une œuvre simple, élégante, harmonieuse. Elle était la continuation logique de tous les travaux entrepris depuis Galilée, et par delà Galilée, depuis Archimède : à travers la mécanique rationnelle et la cinématique, elle se liait même à la belle ordonnance de la géométrie. Rien ne semblait devoir rompre ce mouvement uniformément accéléré dans la même direction depuis des siècles. La science avait trouvé la seule explication possible des phénomènes naturels. Et cette explication était bien une explication au sens total du mot. La mécanique supposait des éléments : les points matériels, et

1. Voir à ce sujet A. TANNERY, *Aug. Comte, historien des sciences*, 1905.

des principes qui établissaient entre ces éléments des relations fondamentales. La physique, en revêtant d'une figure concrète ces masses et ces liaisons, en les *réalisant* en quelque sorte, construisait l'Univers comme le géomètre construit la figure dans la définition qu'il en donne, ou mieux encore comme l'architecte construit un édifice *réel* avec des matériaux *réels*, et du ciment *réel*. Le physicien tenait les *éléments matériels*, les *causes*, et la *manière* dont elles agissent, les lois *réelles* de leur action. La nature était le résultat complexe des interactions de ces éléments très simples, selon des lois très simples. L'imperfection de la science laissait bien subsister quelque flottement, mais personne ne doutait que ce flottement ne dût aller en diminuant.

La pensée humaine allait bientôt avoir en face d'elle une nature de cristal.

CHAPITRE II

Les faits qui incitèrent à critiquer et à réformer le mécanisme traditionnel.

1. La fondation de la thermodynamique expérimentale. — *a)* Le principe de la conservation de l'énergie ; *b)* Le principe de Carnot-Clausius. — 2. Modifications entraînées par ces principes dans la théorie physique. — *a)* Au point de vue de la forme ; *b)* Au point de vue du contenu. — 3. Comment ces modifications sont acceptées par les physiciens. La résistance au mouvement réformiste. Classification rapide des diverses attitudes adoptées par la physique contemporaine.

1. — C'est au moment où la physique paraissait avoir atteint sa stabilité définitive, que des découvertes nouvelles vinrent déplacer son centre de gravité, en paraissant à la fois se relier fort mal à la mécanique classique, et permettre une position nouvelle dans laquelle l'équilibre serait mieux assuré. Ces découvertes nouvelles furent la loi d'équivalence de la chaleur et du travail formulée à la suite des expériences de Joule et de Mayer, en 1847, et la loi de Carnot (1824), précisée dans toute son importance et sa généralité par Clausius.

a) La loi de l'équivalence de la chaleur et du travail eût semblé au premier abord apporter un argument de plus à la théorie mécanique de la chaleur, puisque sous la formule d'équivalence qu'elle établissait entre les quantités de travail mécanique et les quantités de chaleur, elle permettait de conclure une identité entre le mouvement et la chaleur : la chaleur ne devait avoir d'autre facteur qu'un mouvement, continuation logique du mouvement qui l'avait provoquée, mais non visible à notre sens grossier de la vue, alors que le premier l'était. La plupart des physiciens ont, en

effet, accepté cette théorie. Mais il est aisé de remarquer aussi qu'une fois établie une formule mathématique simple, capable de représenter toujours d'une façon nécessaire et identique les transformations d'énergie mécanique en énergie thermique, certains esprits, mathématiciens de race, qui se meuvent aisément dans les notions abstraites, mais qui répugnent aux images concrètes, devaient considérer comme inutile l'hypothèse d'une image concrète. Pourquoi aller chercher des mouvements invisibles, des masses cachées, des liaisons arbitraires, alors que la formule mathématique suffit à tous les besoins de la science ?

Lorsque, par une généralisation qui s'imposait, la loi expérimentale de l'équivalence de travail et de la chaleur fut transformée en principe général de l'équivalence de toutes les formes de l'énergie, c'est-à-dire devint le principe de la conservation de l'énergie, cette tendance à se départir du mécanisme traditionnel ne pouvait que s'accroître. Pourquoi doubler cette formule d'une intelligibilité si claire, par des constructions compliquées, et représenter toutes les formes de l'énergie par l'énergie mécanique, c'est-à-dire par un ensemble de situations et de vitesses initiales ? Certaines formes de l'énergie, comme l'énergie électrique, ne hérissaient-elles pas de difficultés les chemins que l'on essayait de tracer pour établir ces correspondances ? Pourquoi vouloir ramener à la forme spéciale d'un cas particulier une loi qui paraissait être universelle, et pourquoi s'acharner à dériver de ce cas particulier toute la physique, alors qu'on avait une formule générale d'où l'on pouvait au contraire très facilement déduire à son tour ce cas particulier ?

Certains donc trouvèrent plus simple de renoncer à la mécanique classique pour asseoir l'édifice de la physique, et de considérer la mécanique classique elle-même comme une aile de l'édifice, comme une particularisation d'un système plus général, particularisation qui se bornait à considérer l'énergie de position et de mouvement. L'édifice tout entier serait plus harmonieux, plus simple, plus logique, plus intelligible, s'il se fondait sur la notion d'énergie, au

sens le plus général du mot, et sur les deux grands principes relatifs à l'énergie. Par là, la théorie énergétique se construisit en opposition au mécanisme traditionnel.

b) Une autre raison devait donner à l'énergétique une impulsion nouvelle ; cette raison est d'un caractère moins général que la première. Celle-ci repose, somme toute, sur une tournure d'esprit mathématique, abstraite, qui chercha à utiliser, dans le sens de ses tendances et de ses répugnances propres, des découvertes qui s'y prêtaient admirablement. Celle-là, au contraire, se fonde directement sur une exigence de la science physique à laquelle le mécanisme traditionnel ne pût — surtout à ses débuts, et malgré ses efforts, — répondre d'une façon satisfaisante ; il s'agit des difficultés considérables où le mécanisme traditionnel (il a été modifié depuis par les continuateurs du mécanisme) se trouva engagé pour interpréter le principe de Carnot-Clausius. Le principe de Carnot-Clausius nécessiterait ici, pour être établi dans toute sa précision et dans toute sa rigueur, une intrusion trop longue dans le domaine de la physique pure. En s'aidant des analogies de l'expérience, on peut en établir grossièrement le sens ; ce fut d'ailleurs sous une forme assez semblable qu'il fut d'abord exposé à l'époque à laquelle on fait ici allusion. Carnot était parti de l'idée de l'impossibilité du mouvement perpétuel ; il l'avait appliquée au calorique. Toute machine thermique peut être comparée à une machine hydraulique. Du travail ne peut être produit par une machine hydraulique que s'il y a une différence entre le niveau du liquide avant l'utilisation dans le moteur, et le niveau après l'utilisation. Celui-ci doit être plus bas : il faut une chute. De même, pour que du travail soit produit par une machine thermique, il faut qu'il y ait une différence de niveau entre la température de la source thermique (niveau avant l'utilisation) et celle du condenseur (niveau après l'utilisation). Il faut une chute de température.

Si donc l'on ne dispose pas d'une force extérieure au système, si l'on considère un système clos et fini, il arrive un moment où il est impossible que le système puisse

engendrer du travail, car il est en équilibre parfaitement stable, toute l'eau dont on disposait étant au niveau le plus bas, si c'est un système hydraulique, ou toutes les parties étant à la même température, si c'est un système thermique. D'où ces formules du principe de Carnot :

a) On ne peut faire passer de la chaleur d'un corps froid sur un corps chaud (pas plus qu'on ne peut faire remonter de l'eau) sans fournir un travail extérieur.

b) Tout système fini s'achemine vers un état d'équilibre thermique où il ne pourra plus se transformer (0 absolu).

c) La valeur de transformation d'une modification est égale à la diminution que subit par cette modification, une certaine grandeur, liée à toutes les propriétés qui fixent l'état du système, mais indépendante de son mouvement, cette grandeur étant l'entropie du système et tendant sans cesse à croître dans un système clos, isolé, pour toutes les transformations qu'il subit, etc.

Or, si tout est réductible aux principes de la mécanique classique, il semble bien qu'on ne puisse rendre compte de cette inutilisation grandissante de la force, de cette diminution de l'énergie utilisable, de cet équilibre se réalisant constamment sans espoir de retour. La nature doit pouvoir revenir en arrière, en quelque sorte, et recommencer sans fin le même cycle de transformation. Nous ne pouvons avoir que des équilibres statistiques et apparents.

M. Lippmann, au Congrès de physique de 1900, a signalé encore quelques-unes des difficultés d'ordre expérimental que le principe de Carnot pose au mécanisme, et a conclu pour cela au rejet de toute interprétation mécaniste du principe de Carnot. Des mécanistes intransigeants ont préféré à leur tour le rejet de ce principe; mais jusqu'ici la physique, à moins de ne plus être une science expérimentale, ne peut, au nom d'une vue théorique, se passer d'une déduction nécessaire des données de l'expérience. Maxwell, Helmholtz, Gibbs, et bien d'autres se sont essayés au difficile problème de donner une figuration mécanique de cette loi. Et pourtant la plupart des physiciens contemporains se refusent encore à dire qu'il ait

été résolu d'une façon satisfaisante en se plaçant au point de vue du mécanisme traditionnel. Ces discussions montrent bien les difficultés que rencontrait ce dernier. On se trouve donc en face d'un très gros obstacle, dans une science fondée tout entière sur l'expérience, et pour une théorie qui prétend *expliquer* la nature d'une façon réaliste, c'est-à-dire conforme à l'expérience. On comprend la brèche faite à l'édifice classique, et qu'on fût tenté aussitôt de le réformer et de le soumettre à une critique sévère dans toutes ses parties.

Le résultat fut qu'effectivement la seconde moitié du xix^e siècle et l'aurore de ce siècle-ci ont été consacrées, soit à une critique minutieuse, soit à une revision des fondements de la physique classique. Cette critique et cette revision ont amené des modifications importantes dans la conception générale que les physiciens se font de la physique, dans leur théorie de cette science. C'est à l'examen de ces modifications qu'il faut procéder maintenant¹.

2. — a) D'une façon générale on peut dire que les modifications de la conception générale de la physique consistent surtout dans le rejet de la valeur ontologique des théories figuratives, et dans le sens phénoménologique très accentué que l'on attribue à la physique. On va jusqu'aux limites du positivisme, si l'on entend par ce mot l'exclusion rigoureuse de toute tendance métaphysique et ontologique, qui prétendrait dépasser ou outrepasser les apparences sensibles. Il est sorti de cet effort une conception nouvelle de la physique — qui ne s'oppose peut-être pas autant qu'on l'a dit quelquefois à la conception antérieure — mais qui, en tout cas, la modifie profondément. Cette conception nouvelle, on peut l'appeler *conceptuelle*, parce qu'elle substitue aux intuitions figurées, aux constructions représentatives du mécanisme traditionnel, des notions

1. On ne parlera de la revision particulière des principes fondamentaux de la physique qu'autant qu'il sera nécessaire pour l'intelligence de ces modifications, puisque l'objet de ce travail porte sur l'esprit de la science et non sur son contenu, et parce que les savants seuls ont qualité pour traiter des questions qui concernent les principes de la science et leur revision.

abstraites pures et simples, des concepts de quantités non figurées. Elle remplace ce qui était langage sensible, termes de perception, comme les masses, les mouvements, les liaisons, les choes, les mécanismes, par un langage d'idées, par des termes d'intellection. Des grandeurs définies algébriquement, et non géométriquement, encore moins mécaniquement, des variations numériques mesurées à l'aide d'une échelle conventionnelle et non plus des changements perceptibles, mesurés par des déplacements dans l'espace par rapport à une origine locale, voilà les matériaux de la conception nouvelle : la physique conceptuelle, par opposition à la physique mécaniste ou figurative.

b) Cette modification de forme est parallèle à une modification du contenu, et a été amenée par elle. La physique mécaniste parlait des principes de la mécanique rationnelle et des éléments considérés par cette mécanique. Comme il se trouve que les principes de la mécanique ne paraissent plus suffisants pour asseoir la science physique, il faut lui chercher des principes nouveaux, des principes qui, cette fois, seront les principes propres et spécifiques de la science physique. C'est en abandonnant les principes de la mécanique que les novateurs sont amenés à rejeter les éléments empruntés à l'intuition et sur lesquels portent les démonstrations de la mécanique. En chercher d'autres n'était guère que substituer à une hyperphysique une autre hyperphysique, restaurer des éléments transcendants l'expérience. C'est pourquoi la réforme abandonne résolument l'intuition figurée, et cherche une théorie purement abstraite, qui éliminera autant qu'il est possible l'hypothèse matérielle.

Quant aux principes spécifiques de la physique, il était naturel de les chercher dans cette partie nouvelle de la science que le mécanisme se montrait impuissant à représenter. Puisque là était la pierre d'achoppement, là devaient être aussi les principes que la physique avait besoin d'ajouter aux principes de la mécanique pour se constituer scientifiquement. La réforme devait donc demander à la thermodynamique les fondements de sa nouvelle doctrine,

et les trouver dans le principe de la conservation de l'énergie et le principe de Carnot-Clausius, bases de la thermodynamique. La notion d'énergie devenait ainsi la substructure de la physique nouvelle. C'est pourquoi la physique conceptuelle peut encore le plus souvent être appelée physique *énergétique*. On emploiera dans ce travail ces deux expressions ; la première est cependant plus générale, et mieux appropriée à une étude méthodologique, à une étude de l'esprit de la science, car la seconde se relie plus directement au contenu, à l'organisation matérielle de la physique, et certains partisans théoriques de la méthode conceptuelle, comme Mach, seraient mal désignés par la dénomination d'énergétistes, bien que leurs idées méthodologiques se relient à celles des physiciens énergétistes.

3. — Ce serait une erreur de croire que les idées réformatrices ont conquis d'emblée l'adhésion des physiciens. Ce serait même une erreur de croire qu'elles ont triomphé, actuellement, et qu'elles ont rallié la majorité des physiciens. Tout en modifiant la conception traditionnelle de la physique, en lui imprimant une allure générale nouvelle, la très grande majorité des physiciens n'a pas rompu aussi complètement avec la tradition. Et l'histoire des sciences doit constater qu'actuellement encore, l'école conceptuelle et énergétique est une petite minorité. Il semble même qu'il y ait une réaction contre elle¹, et qu'on considère que ses innovations sont loin d'être toutes heureuses.

1. La physique électronique qui doit être rangée parmi les théories d'esprit général mécaniste tend à imposer actuellement sa systématisation à la physique. Elle est d'esprit mécaniste, bien que les principes fondamentaux de la physique ne soient plus fournis par la mécanique, mais par les données expérimentales de la théorie de l'électricité, parce que : 1° Elle emploie des éléments *figurés*, *matériels*, pour représenter les propriétés physiques et leurs lois ; elle s'exprime en termes de perception.

2° Si elle ne considère plus les phénomènes physiques comme des cas particuliers des phénomènes mécaniques, elle considère les phénomènes mécaniques comme un cas particulier des phénomènes physiques. Les lois de la mécanique sont donc toujours *en continuité directe* avec les lois de la physique ; et les notions de la mécanique restent du même ordre que les notions physico-chimiques. Dans le mécanisme traditionnel, c'étaient les mouvements calqués

Aussi, à côté d'elles, trouve-t-on des physiciens, qui, tout en approuvant quelques-unes des critiques adressées par l'école conceptuelle au vieux mécanisme, n'acceptent pas intégralement les réformes qu'elle propose. D'accord avec elle sur la partie négative, ils ne le sont plus sur la partie positive. Ils considèrent que dans l'état actuel de la science, il est prématuré d'imposer une forme spéciale et nettement définie de systématisation. Représentations mécanistes et représentations énergétiques ont leurs avantages et peut-être leurs défauts : en tout cas, la seconde ne paraît pas pouvoir être considérée d'ores et déjà comme triomphante. Pour le moment, il est bon de se servir de l'une et de l'autre, en ne les acceptant que sous bénéfice d'inventaire, et comme des instruments plus ou moins commodes. Il convient de conserver une attitude *critique* en face de leurs affirmations décisives lorsqu'elles prétendent s'appliquer aux expériences possibles en dépassant l'expérience présente. Il est enfin *utile* de faire une part à l'intuition empirique, donc aux constructions mécanistes, dans les théories physiques, sans se faire illusion sur l'objectivité de cette interprétation, qui reste très hypothétique. Cette attitude critique a été fortement indiquée par H. Poincaré.

sur les mouvements *relativement lents*, qui, étant les seuls connus et les plus directement observables, avaient été pris, sur la loi de l'expérience, pour types de tous les mouvements possibles. *Les expériences nouvelles* au contraire montrent qu'il faut *étendre* notre conception des mouvements possibles. La mécanique traditionnelle reste tout entière debout, mais elle ne s'applique plus qu'aux mouvements *relativement lents* (comme ceux des corps que nous percevons). A des vitesses considérables, les lois du mouvement sont autres. La matière paraît se réduire à des particules électriques, éléments derniers de l'atome, si bien que les lois de la mécanique ne sont plus que les conséquences des lois des particules d'électricité, dans le cercle facilement délimitable des phénomènes mécaniques.

3° Le mouvement, le déplacement dans l'espace reste l'élément figuratif unique de la théorie physique.

4° Enfin — ce qui, au point de vue de l'esprit général de la science physique, prime toute autre considération, — la conception de la science physique, de ses méthodes, de ses théories et de leur rapport avec l'expérience, reste *absolument identique* à celle du mécanisme, et à la conception de la physique depuis la Renaissance.

Elle renonce à toute critique hostile pour s'en tenir à une critique bienveillante, utile, favorable.

Enfin, se reliant d'une façon continue à la tradition mécaniste, mais en la modifiant sous l'influence de l'école conceptuelle et surtout de l'école critique, la nouvelle école mécaniste cherche à se rapprocher de l'expérience plus que l'ancienne. Elle n'accorde à la théorie mécaniste que la valeur d'un schème figuratif, nécessaire, parce qu'il est commandé dans une certaine mesure par l'expérience acquise et que rien n'autorise à dire qu'il ne sera pas — avec les modifications convenables — apte à coïncider de mieux en mieux avec l'expérience future. Elle comprend le plus grand nombre des expérimentateurs, des ouvriers de laboratoire. Elle constitue le gros de l'armée des physiciens; mais, malgré ses divergences profondes avec l'école conceptuelle, l'emploi des procédés figuratifs, et la liaison étroite qu'elle maintient entre la physique et la mécanique, il ne faut pas oublier que, comme l'énergétique, comme l'école critique, pour les mêmes raisons et selon la même évolution, elle se fait une conception essentiellement phénoménologique de la science physique.

Telles sont, d'après une description préliminaire très générale, les grandes divisions du chapitre de l'histoire de la physique qu'il reste à poursuivre avec plus de détails.

On peut distinguer très facilement ces écoles, grâce à un signe extérieur que l'on posera momentanément comme une marque provisoire, mais qui est l'expression, comme nous le verrons, des causes les plus profondes de ces divergences. Dans les théories physiques, l'école conceptuelle ou énergétique n'admet *jamais* — l'école critique admet d'une façon *accessoire* — l'école mécaniste admet *toujours* et d'une façon *essentielle*, des éléments figuratifs, empruntés à la représentation du mouvement.

LIVRE II

LA CRITIQUE DU MÉCANISME : L'ATTITUDE HOSTILE (Théories conceptuelles)

CHAPITRE PREMIER

L'énergétique de Rankine

I. — *Partie critique.*

1. Les généralités préliminaires de la critique de Rankine : a) Sciences concrètes et sciences abstraites ; b) Méthode abstractive et méthode hypothétique. — 2. Avantage de la méthode abstractive : La mécanique est le type parfait d'une science construite à l'aide de cette méthode. — 3. La physique classique qui se présente comme une extension de la mécanique est, *au contraire*, le type d'une science construite à l'aide de la méthode hypothétique. Inconvénients de cette méthode.

II. — *Partie positive.*

1. Généralités : Ce que devrait être la physique : une nouvelle application de la méthode abstractive. — 2. Conséquences de ce point de vue : la réforme de la physique et la théorie physique conceptuelle.

III. — *Développement de l'énergétique de Rankine.*

1. — Les substances et les accidents. — 2. Accidents complexes et accidents élémentaires indépendants. Langage péripatéticien, esprit moderne. Rapports étroits entre l'esprit de la nouvelle conception et l'esprit de la conception mécaniste. — 3. Cette analogie se continue à mesure qu'on descend dans le détail du système : accidents actifs et passifs : force, masse, travail, quantité de travail ; énergie actuelle et potentielle. — 4. Elle devient absolument manifeste avec la notion de l'homogénéité de l'énergie. — 5. Cette notion posée, de l'aveu de Rankine lui-même, nous sommes conduits à toutes les conséquences de l'hypothèse mécaniste.

IV. — *Conclusions.*

1. Empirisme ou plutôt expérimentalisme de la physique, dans la conception de Rankine. — 2. Objectivité des résultats expérimentaux. — 3. La théorie physique tire toute sa valeur de l'expérience ; elle n'est qu'une méthode pour la représenter. — 4. Autonomie de la théorie physique ; pas de métaphysique. — 5. Rankine est le continuateur de la tradition mécaniste, il ne fait que

la corriger dans le sens de l'esprit qui l'a suggérée elle-même, dans le sens de l'esprit moderne. — 6. En quel sens il convient d'interpréter la modification la plus profonde que Rankine apporte au mécanisme, la forme conceptuelle de la théorie : en un sens nominaliste directement issu de l'esprit de la Renaissance.

I. — PARTIE CRITIQUE

C'est Rankine qui, en 1846, a inauguré la critique systématique du mécanisme et a jeté les bases de la doctrine énergétique dans un mémoire inséré au volume III des *Proceedings of the Philosophical Society of Glasgow*, p. 382. Ce mémoire est un fait historique décisif en ce qui concerne l'histoire de l'esprit général et de la théorie de la physique, car il marque la rupture avec le mécanisme traditionnel. Il est le premier manifeste de la réforme.

1. — a) Le mathématicien anglais commence par distinguer la science abstraite et la science concrète. Cette dernière, comprend les parties purement empiriques de la science : c'est un simple recueil d'observations que rien ne vient encore coordonner et systématiser d'une façon cohérente et logique. La science abstraite consiste en un enchaînement de propositions présentées comme les conséquences de quelques définitions et de quelques axiomes. La physique théorique doit être rangée dans cette dernière catégorie, mais avec deux réserves importantes :

1° Dans une science abstraite, une définition assigne un nom à une classe de notions dérivées originellement de l'observation, c'est vrai, mais qui, après le travail d'élaboration qu'elles ont subi, ne correspondent plus nécessairement à une classe d'objets réels et existants. Un axiome n'est à son tour que l'énoncé d'une relation entre ces notions abstraites et irréelles, ou les mots qui les expriment ¹.

Dans la physique théorique, au contraire, une définition établit des propriétés communes à une classe d'objets existants, et un axiome est une loi générale qui concerne les relations de ces phénomènes réels ².

1. RANKINE : *Outlines of the Science of Evergetics (Proceedings of the philosophical society of Glasgow)*, III, 1848-1855, § 1, p. 382.

2. *Id.*

2° Dans une science abstraite, les *premières* propositions que l'on a découvertes, sont les plus simples de toutes et elles sont en nombre très restreint; elles constituent les principes fondamentaux de cette science¹. On cherche ensuite de proche en proche à composer tout le reste avec ces notions simples, et à n'ajouter d'éléments nouveaux que lorsque c'est absolument nécessaire.

D'après Rankine, la science de la matière nous présenterait un tout autre aspect. Ici, les propositions d'abord découvertes sont en général complexes et forment un ensemble confus et chaotique : elles s'accumulent en très grand nombre, sans qu'on puisse voir de liens bien nets entre elles. On arrive aux axiomes premiers beaucoup plus tard, et l'on suit dans le développement de la science, une marche opposée à celle que l'on suit dans la science abstraite ; elle est inductive au lieu d'être déductive. L'induction s'oppose à la déduction, d'un côté, parce qu'elle est plus complexe et d'application plus difficile ; de l'autre, parce qu'elle est une tentative de généralisation².

Ce dernier point mérite, dans l'œuvre de Rankine, une attention spéciale : il est le point central de sa critique du mécanisme.

Cette remarque : « Le procédé inductif est toujours une tentative de généralisation », signifie, en effet, qu'il enveloppe toujours des principes conjecturaux, et leur acceptation ou leur rejet, selon que leurs conséquences coïncident ou non avec les lois qui dérivent de l'observation³.

Dans le domaine de la physique, nous avons donc à distinguer deux étapes nécessaires. Dans la première, on établit des formules, tirées directement de l'expérience. Dans la seconde, on enchaîne ces formules en une théorie générale, de façon que la physique prenne l'aspect d'une science abstraite⁴. La physique expérimentale se transforme en physique théorique, par la découverte du système

1. *Id.*

2. *Id.*

3. *Id.*

4. *Id.*

de principes le plus simple dont on puisse déduire les lois qui formulent l'expérience. Ce système n'est pas naturel, immédiat, comme dans les sciences directement abstraites. Il est médiat et dérivé; il n'est pas le commencement de la recherche, il en est un aboutissant assez tardif. Aussi ne peut-il s'imposer d'une façon nécessaire. Il ne peut qu'être proposé. Conclusion : Les tentatives de généralisation peuvent être établies de plusieurs façons et la physique théorique être construite suivant des méthodes diverses.

b) Quelles sont ces méthodes ? Toute généralisation ayant pour but d'embrasser une multitude de phénomènes, le but de la physique théorique sera de grouper les phénomènes, d'en former des classes. Les différentes méthodes de la physique théorique pourront donc être déterminées en observant la manière dont sont définies les classes de phénomènes, et groupés les faits¹. Rankine trouve qu'à ce point de vue, ces méthodes se ramènent à deux principales : la *méthode abstractive* et la *méthode hypothétique*².

Suivant la méthode abstractive, une classe de phénomènes ou d'objets est définie en décrivant (après leur avoir assigné un nom ou un symbole) l'ensemble des propriétés qui sont communes à tous les phénomènes ou objets composant la classe, sans faire appel à autre chose qu'aux données de la perception sensible, sans pouvoir par conséquent introduire une hypothèse. La description est réaliste; aucune propriété n'y entre qu'on ne puisse directement constater, dans l'un quelconque des objets de la classe ainsi définie, par l'exercice normal et commun de nos sens³.

Tout autrement serait définie cette classe par la méthode hypothétique. On se fera des objets ou phénomènes qui la composent une conception conjecturale; on leur attribuera une constitution que nos sens ne peuvent percevoir. Cette conception, on ira en chercher le modèle dans une autre classe d'objets ou de phénomènes dont les lois sont déjà

1. *Id.*, § 2, p. 382.

2. *Id.*

3. *Id.*

connues et sont relativement simples. On établira ainsi une homogénéité suffisante entre les deux classes de phénomènes pour déduire des lois de l'une les lois de l'autre, ce qui est un avantage incontestable au point de vue de l'économie des efforts intellectuels. Bien entendu, les conséquences d'une construction de ce genre doivent s'accorder avec les résultats de l'expérience. La conception conjecturale n'est conjecturale que dans ses principes, non dans les propositions qu'elle énonce sur les faits qu'elle relie ¹.

Ces hypothèses peuvent elles-mêmes être distinguées en deux classes, suivant qu'elles sont adoptées comme une représentation probable d'un état de choses *réel*, bien qu'imperceptible aux sens, ou simplement comme des moyens convenables d'exprimer les lois des phénomènes sans qu'on croie le moins du monde qu'ils correspondent à la réalité : elles sont en un mot ou objectives, comme la théorie ondulatoire de la lumière, ou subjectives comme la théorie des fluides magnétiques ².

2. — Nous en avons fini maintenant avec les préliminaires généraux que Rankine pose avant d'aborder l'examen de la physique. Il s'agit de tirer de ces préliminaires les conséquences qu'elles comportent.

Il est tout de suite visible que pour Rankine, la méthode-type, la méthode normale à laquelle doit se plier autant qu'il est possible la science, est la méthode abstractive. Elle a cet avantage de nous permettre de répéter après Newton : nous ne faisons pas d'hypothèses. Et si une science est susceptible de revêtir sans inconvénients l'aspect abstraktif, il faut abandonner de suite la conception conjecturale et hypothétique.

Y a-t-il des sciences capables de s'exprimer sous la forme abstractive ? Y a-t-il des sciences qui s'expriment effectivement déjà sous cette forme ? A ces deux questions, Rankine répond par l'affirmative, une affirmative assez restreinte, d'ailleurs, puisqu'elle ne concerne dans chacun des deux cas qu'une seule science : Oui, il y a une science qui se

1. *Id.*

2. *Id.*

présente tout entière sous la forme abstractive : la mécanique¹. Oui, il y a une science capable dès maintenant de se présenter sous cette forme : *la physique*².

Cette double réponse est intéressante au point de vue historique.

Elle montre nettement les intentions de Rankine et en quoi lui et ses disciples diffèrent à la fois du mécanisme, et, plus encore, des dialecticiens qui, après eux, entreprendront la critique philosophique, et non plus scientifique, du mécanisme.

Ce n'est pas la mécanique elle-même, ce ne sont pas les lois fondamentales de la mécanique qu'attaque Rankine. Il trouve, au contraire, qu'elles représentent la science idéale, en tant qu'expression simplement abstraite de la réalité, qu'application intégrale de la méthode abstractive ! La mécanique, dans son exposé traditionnel est le type même que doivent chercher à atteindre les sciences du réel. Non, ce qu'il va critiquer, c'est, alors que la physique pourrait s'organiser de même, l'emploi de la méthode hypothétique en son domaine, par l'extension conjecturale des lois fondamentales de la mécanique, comme lois fondamentales de la physique.

La mécanique, dit Rankine, est le seul exemple existant d'une théorie physique complète dont les principes soient tirés des data de l'expérience par la méthode abstractive. La classe d'objets, les *corps matériels*, sont définis par les propriétés sensibles qu'ils possèdent : occuper un espace, résister aux changements de mouvements. Les deux classes de phénomènes : *mouvements* et *forces*, de même. Les lois de composition et de résolution des mouvements et des forces, les lois de relation entre mouvements et forces ne sont que l'expérience formulée³.

3. — Cette perfection est précisément la cause pour laquelle on a essayé de fonder hypothétiquement toutes les branches de la physique sur la mécanique sans s'aperce-

1. *Id.*, § 3, 383.

2. *Id.*

3. *Id.*, § 3.

voir qu'on changeait de méthode, qu'on tournait le dos à celle qui avait si bien réussi en mécanique, pour suivre, au contraire, l'autre méthode : la méthode hypothétique. On a imaginé une constitution des phénomènes physiques, qui n'est pas donnée dans l'expérience sensible. Cette constitution, on l'a figurée d'après les propriétés des phénomènes mécaniques. Autrement dit, on a modifié les définitions et les lois des classes de phénomènes étudiés par la mécanique, pour énoncer les définitions et les lois fondamentales des classes de phénomènes étudiés par la physique, de façon à ce que les conséquences des définitions et des lois ainsi posées coïncidassent avec l'expérience. Rankine ne met d'ailleurs pas en doute qu'on y soit parvenu fidèlement. On a élaboré une représentation des phénomènes physiques en termes mécaniques ; on a pour cela supposé des corps, des mouvements et des forces *invisibles*, que les sens ne peuvent percevoir, et que l'expérience ne révèle en aucune manière¹.

Il y a eu à cela des avantages indéniables : le champ scientifique a acquis plus d'unité, le nombre des principes a été réduit au minimum. Des lois ont pu être prévues par simple déduction, qui, ensuite, furent vérifiées par l'observation. Mais il reste un inconvénient grave : cette hypothèse n'atteindra jamais la certitude des faits observés. Conjecturer des corps, des mouvements, des forces invisibles, si commodes, si utiles, si fructueux que cela puisse être, ne vaudra jamais, en matière de savoir, la constatation de propriétés données dans l'expérience. La vertu théorétique et explicative du premier processus est raisonnablement inférieure au second².

Il y a du reste un danger sérieux dans toute application de la méthode hypothétique. On y doit toujours marquer que la certitude n'y saurait être complète. Mais cette précaution est la plupart du temps négligée. On prend de bonne foi l'habitude d'expliquer, par l'hypothèse universellement admise, avec autant de dogmatisme que si l'on se bornait

1. *Id.*, § 4, p. 383.

2. *Id.*, § 5, p. 384.

à constater l'expérience. On en arrive à ne plus distinguer, tant l'hypothèse est entrée dans nos mœurs scientifiques, entre ce qui est hypothèse et ce qui est expérience. Le public, puis les savants, ont fini par leur donner même autorité ¹.

Il en est résulté alors qu'on a négligé, à peu près sans s'en apercevoir, les faits qui ne s'accordaient pas avec ces hypothèses. On les a considérés comme douteux, sans importance, inexpliqués, ou irréels, alors qu'on considérerait comme certains, primordiaux et réels les principes hypothétiques. Mieux appréciés, ces faits auraient pu fournir la base d'hypothèses plus complètes, et même de théories certaines, c'est-à-dire vraiment fondées sur l'expérience. Les hypothèses de l'indestructibilité du calorique et des fluides électriques qui conduisirent à mettre en doute ou à négliger les faits aujourd'hui fondamentaux dans l'étude scientifique de la chaleur ou de l'électricité, sont de bons exemples de cette inversion de l'esprit scientifique ².

II. — PARTIE POSITIVE. GÉNÉRALITÉS

1. — Une science doit donc renoncer à la forme hypothétique, et prendre la forme simplement abstraitive dès que cela devient possible. La physique se trouve précisément placée dans cette dernière condition : une extension de la méthode abstraitive est susceptible de coordonner les phénomènes physiques en un système, de fonder la physique théorique ³.

On distinguera les propriétés possédées en commun par plusieurs groupes de phénomènes physiques, sans se préoccuper de les réduire aux éléments définis en mécanique ; on les distinguera d'après l'expérience ; et à l'aide de ces propriétés tirées de l'expérience, on formera des classes plus extensives jusqu'aux classes les plus générales qui puissent embrasser toutes les autres.

On connotera chacune d'elles par un terme convenable.

1. *Id.*

2. *Id.*

3. *Id.*, § 6, p. 385.

Les définitions de ces termes seront les définitions préliminaires de la physique théorique, formés d'après la méthode abstractive. Quant aux axiomes fondamentaux, il suffira pour les obtenir de formuler les propositions générales qui comprennent, comme cas particulier, les lois des classes particulières, comprises dans nos classes les plus générales.

On arrive ainsi à un corps de doctrines applicable aux phénomènes physiques en général. Ce corps de doctrines sera tout entier assis sur l'expérience et l'induction, et sur elles seules. On sera délivré ainsi de l'incertitude inhérente aux hypothèses mécanistes et à la méthode hypothétique ¹.

Il est bon de sortir de ces généralités un peu vagues, et de voir d'une façon plus concrète, sans vouloir toutefois faire ici un résumé de physique théorique, comment Rankine entend l'application de la méthode abstractive à la physique. En négligeant les détails techniques, analysons les notions fondamentales du système, pour en étudier la texture logique (et non la valeur scientifique directe, qui ne peut et ne doit être appréciée que par les physiciens de métier).

Rankine, commence par rechercher quel est, dans l'expérience, le caractère commun des états variés de la matière à laquelle se rapportent les différentes branches de la physique; ce caractère commun de tout état physique, c'est de pouvoir produire un effet, d'être une capacité de changement, de représenter de *l'énergie*. L'énergie, voilà le mot qui connotera la classe la plus générale que puisse envisager la physique théorique, puisque cette classe comprend tous les phénomènes physiques. La définition de l'énergie sera la définition préliminaire, transcription de la donnée la plus générale de l'expérience physique; elle doit, en cette science, tenir la place de la définition de l'objet matériel en mécanique. Elle n'est que la description abstraite d'une propriété commune à tous les faits physiques : la possibilité d'être modifié ¹.

1. *Id.*, § 6, p. 385.

Si alors il est possible de formuler des lois générales concernant l'énergie, ces lois pourront être applicables, *mutatis mutandis*, à toute branche de la physique, et constitueront un système de principes sur lequel pourra se fonder une physique théorique d'après la méthode abstractive. On voit maintenant pourquoi Rankine a donné à sa théorie le nom de théorie énergétique¹.

2. — Le terme énergie et tous les termes généraux dont la théorie énergétique a besoin pour se développer sont purement abstraits : ce qui explique l'expression par laquelle Rankine désigne la méthode qui les rend nécessaires : méthode abstractive. Mais par abstrait, il n'entend pas imaginaire ou irréel ; nous retomberions sur une théorie analogue à la théorie mécaniste, et sur la méthode hypothétique. La méthode abstractive se distingue, au contraire, de la méthode hypothétique en ce qu'elle représente quelque chose de réel, en ce qu'elle sort des données mêmes de l'expérience. Abstrait signifie donc simplement « qui n'est pas un nom d'objet, ou de phénomène particulier, mais un nom de *classe* très compréhensive d'objets ou de phénomènes² ».

Autrement dit, les notions à l'aide desquelles se construit la théorie physique, d'après la méthode abstractive, sont des notions très générales qui symbolisent ou représentent une propriété sensible, commune, offerte dans l'expérience par un grand nombre d'objets.

Il n'y a pas ici, et il est bon de le noter de suite, car c'est un trait que nous retrouvons chez tous les critiques du mécanisme traditionnel, de rupture avec la tradition de la Renaissance, et les innovations qu'elle apporta dans la physique.

Les physiciens modernes, les physiciens mécanistes ont toujours été essentiellement nominalistes. Pour eux, il n'existe que des objets concrets ; l'expérience sensible ne nous présente que des phénomènes individuels. Tout doit être expliqué en fonction de l'expérience, donc d'après l'ac-

1. *Id.*, § 7, 385.

2. *Id.*, § 7.

tion et l'interaction d'objets individuels et réels, de choses. De là, les conceptions mécanistes ; fluides ou atomes ; de là encore la théorie du plein de Descartes, souvent reprise, même parmi les newtoniens, même par Newton, quand il se défend par l'attraction de rétablir les qualités occultes. On ne conçoit pas d'action possible en dehors de choses sensibles, d'existences réelles, de corps individuels, ou d'individus matériels. C'est l'agencement de ces individualités matérielles, leurs chocs, leur association qui produisent tous les effets variés que nous observons dans la nature, toutes les *qualités* qu'elle manifeste. Une qualité générale se réduit toujours dans cette conception à une répétition dans le temps et l'espace d'un agencement particulier d'individualités semblables. *La qualité, la propriété générale*, n'existent pas. C'est un mot commode, un symbole, pour indiquer que se retrouvent dans la nature des individus semblables et semblablement disposés.

Telle est la proposition fondamentale du mécanisme depuis Galilée et Descartes.

Rankine ne rompt pas complètement avec cette tradition. Il accepte que l'explication physique doit se faire d'après les données de l'expérience sensible. Il reproche même aux mécanistes de passer outre à cette expérience, en imaginant hypothétiquement des êtres invisibles, intangibles, que les sens ne nous révèlent pas. D'autre part, et le nom qu'il donne à la méthode qu'il veut substituer à ces procédés hypothétiques est significatif, s'il reprend comme principes, les propriétés générales, les qualités, c'est en mettant tous ses soins à nous faire remarquer qu'elles ne sont que des abstractions et des symboles. Elles n'existent pas par elles-mêmes ; elles ne sont pas réalisées : elles n'existent que comme présentées par une multiplicité d'individus : objets ou phénomènes. Il les appelle même souvent des termes. Il reste donc nominaliste, ce qui le laisse, au point de vue historique, l'héritier de la lignée des physiciens issue de la Renaissance.

Mais il n'en est pas moins vrai, et c'est en cela qu'il innove, qu'au lieu de prendre pour principes des objets

individuels, des éléments matériels, qu'on suppose exister réellement, il part de la considération des propriétés générales : il commence par définir des concepts abstraits, et non des choses, des existences individuelles. Certes, il ne conçoit par la généralité comme la philosophie aristotélicienne et médiévale. Il reste tout imprégné du courant mécaniste ininterrompu depuis trois siècles. Mais sa méthode est une méthode conceptuelle, bien qu'il ne croie pas à la réalité des concepts. Ce n'est pas une méthode intuitive.

III. — GRANDES LIGNES DU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGÉTIQUE DE RANKINE

1. — Tout phénomène physique est une manifestation ou une transformation d'énergie, telle est la pierre angulaire de la physique théorique. Comment Rankine va-t-il appliquer cette vue générale aux phénomènes particuliers ?

Pour cela, il distinguera des *substances* et des *accidents*. Les substances seront les propriétés invariables, les accidents, les propriétés variables. Selon qu'ils proviendront de l'état d'une substance considérée isolément, ou de relations entre substances, les accidents pourront être eux-mêmes *absolus* ou *relatifs*¹.

De nouveau, Rankine, non par timidité, — son œuvre tout entière marque plutôt une tendance à l'originalité, un faible pour aller hors des sentiers battus, — mais par sa propre conception de la science, donne un sens moderne à ces termes. Le retour à l'aristotélisme n'est que dans la forme, le langage; il n'est pas dans l'esprit. Par substance ou propriété invariable, il entendra la *masse*, et ceci, c'est du mécanisme. Les accidents, pour être objets d'une enquête scientifique, doivent être *mesurables*, exprimables au moyen de *quantités*. Ce sont des grandeurs homogènes. L'esprit peut et doit concevoir un système de relations qui fournisse les moyens de mesurer les accidents, même absolus.

1. *Id.*, § 8, p. 386.

2. — L'ensemble des variations d'une substance, son état total ou sa variation totale, est un accident complexe. Il n'y aurait pas de variation complexe, si nous étions dans le domaine de la qualité pure, car une variation qualitative est irréductible à des variations plus simples. On n'analyse pas la qualité. On la constate comme une propriété sensible. Rankine admet au contraire — et ceci est encore du pur mécanisme — que la variation totale d'une substance est une *somme* de variations élémentaires. La qualité, la propriété générale est bien pour lui un principe d'explication, mais non un principe d'existence. Il construit avec elle une représentation abstraite, un schème de la réalité. Seulement, il conçoit la réalité, du moins la réalité scientifique, comme le mécanisme, c'est-à-dire sous une forme quantitative. La nature continue à être quelque chose qui tombe sous les prises du calcul, et sous les lois du géomètre. *Il nous donne son système comme un système nouveau pour appliquer le déterminisme mathématique à la réalité.* C'est une espèce nouvelle du genre « mathématisme », inauguré par la Renaissance, une espèce qui doit fournir une intelligibilité plus grande, parce qu'elle élimine les éléments hypothétiques que l'expérience actuelle ne nous rend point tangibles, et qu'aucune expérience, vraisemblablement, ne rendra jamais tangibles.

3. — Les accidents élémentaires ou simples dont la composition doit être considérée pour rendre raison de l'aspect total d'un phénomène, pour en fournir l'explication nécessaire et suffisante, seront les accidents indépendants ¹.

Rankine classe ces accidents en deux groupes : les accidents actifs et les accidents passifs, en langage vulgaire les causes et les effets. Il distingue alors un accident actif *radical*, *l'effort* ; cet accident, pour lui, comme pour les mécanistes, joue un rôle privilégié dans la construction de la physique théorique : il sert en effet à mesurer les substances, c'est-à-dire les masses : « L'effort est une mesure de la masse : les masses peuvent être comparées au

1. *Id.*, § 8.

moyen des efforts requis pour produire en elles des variations de quelques accidents particuliers. » L'accident passif conventionnellement employé à ce but est la vitesse¹.

Toutes les fois qu'un accident varie à cause d'un effort, cette variation constitue ce qu'on appelle un *travail*. La *quantité de travail* sera le produit de la variation d'un accident passif par la grandeur de l'effort, s'il est constant, de son intégrale, s'il est variable. C'est l'aire de courbe dont l'abscisse représente l'accident passif et l'ordonnée l'effort².

Les quantités de travail mesureront, comme dans le système classique, les *quantités d'énergie* capables de les accomplir. L'énergie actuelle est un accident absolu, déterminé par l'état total de la substance. *L'énergie potentielle* est un accident relatif qui provient des relations entre substances. C'est l'intégrale de l'effort eu égard à la variation possible d'un accident passif. Elle diffère du travail en ce que dans celui-ci le changement *a été* effectué et que dans l'énergie potentielle il est *capable seulement* d'être effectué ; il n'est que possible ; il sera réalisé à un moment ultérieur³.

Nous connaissons déjà dans le mécanisme classique toutes ces notions. Elles réapparaissent ici à la même place, au même titre de définitions préliminaires nécessaires à la physique théorique ; seule, la forme de l'expression et de la présentation est changée.

4. — Mais l'analogie avec le mécanisme, tout au moins dans la conception générale de la science, s'accroît encore avec une proposition capitale. Celle-ci suffirait à marquer la séparation absolue d'avec les idées scolastiques, si l'on s'était trop laissé aller à l'équivoque de la terminologie et si l'on avait été tenté de prendre la restauration des anciens mots pour la restauration des anciens concepts.

« *Tous les genres de travail et d'énergie sont homogènes* », dit Rankine, et il cite l'expérience de Joule sur

1. *Id.*, § 8.

2. *Id.*, § 8.

3. *Id.*, § 8.

l'équivalence de la chaleur en travail mécanique. Puisque dans une transformation où la chaleur disparaît et apparaît du travail mécanique, un nombre constant exprime le rapport des quantités de chaleur disparues, et des quantités de mouvements apparues, une fois fixé un système d'unité, c'est qu'au fond ces deux formes d'énergie sont homogènes. Il y a continuité entre tous les genres de l'énergie. « Tout genre d'énergie peut être rendu capable d'accomplir tout genre de travail¹. »

Le mécanisme soutient que toutes les manifestations de l'énergie sont homogènes, et que l'énergie est une dans sa nature dernière. Cette nature dernière, il la conçoit sous la forme d'énergie cinétique, c'est-à-dire de mouvement, tandis que Rankine ne présuppose rien sur elle, c'est vrai. Mais cela importe peu. La proposition essentielle du mécanisme, c'est que l'énergie soit une et toujours identique à elle-même dans son fond. Ces diverses manifestations sont les apparences sous lesquelles la perçoivent nos sens.

Rankine admet ce postulat comme les mécanistes. Il en fait même l'axiome premier de l'énergétique². Il reconnaît en toutes lettres que cet axiome conduit aux mêmes conséquences que le mécanisme traditionnel.

La grande affaire dans la théorie de la physique, ce n'est pas d'être ou non une hypothèse mécaniste, mais d'admettre ou non la possibilité d'une représentation homogène des transformations physiques, ce qui revient à admettre l'unité finale de la physique.

Le reste n'est qu'accessoire et secondaire ; le reste est affaire d'application, tandis que ceci est affaire de principe. Le mécanisme traditionnel avait énoncé ce principe : l'homogénéité des transformations physiques ; il l'avait même traduit métaphysiquement par ce qu'on a appelé l'homogénéité, l'identité ou l'unité des forces physiques. Rankine admet ce principe en le débarrassant de toute signification métaphysique, en en faisant une formule de représentation, une formule relative et non un principe

1. *Id.*, § 9, p. 390.

2. *Id.*

substantiel. Dans le développement de la physique théorique, il continue donc la tradition moderne, en précisant son relativisme.

On a vu, d'ailleurs, que dans le domaine de la mécanique, dans la théorie du mouvement lui-même, Rankine est absolument traditionaliste et mécaniste. Il reconnaît la mécanique traditionnelle, comme le modèle même de la théorie scientifique parfaite. Ce contre quoi il s'élève, au nom de l'expérience, c'est contre la prétention de construire exactement sur les mêmes bases la physique théorique, sans ajouter des définitions et des postulats spéciaux. Quand nous passons du domaine de la mécanique à celui de la physique, le mouvement ne doit plus être considéré que comme la manifestation d'un genre spécial d'énergie, et bien que tous les genres soient homogènes, l'expérience ne nous autorise pas à les réduire à l'un d'entre eux, et à considérer celui-là comme fondamental ; du moins, c'est là ce que pourrait alléguer Rankine, je crois, puisqu'il ne développe par ses raisons, et se contente d'opposer comme plus adéquat à l'expérience son système énergétique au système mécaniste.

Il reste en tout cas ceci : Rankine ne veut pas du système de réduction proposé par le mécanisme, mais il admet, il réclame comme postulat fondamental, la possibilité d'une physique mathématique, c'est-à-dire *la nécessité d'une réduction*, et ceci nous paraît une caractéristique essentielle de l'esprit scientifique qui a régné depuis la Renaissance. C'est elle qui creuse le fossé infranchissable entre deux attitudes de la pensée, deux conceptions systématiques de l'univers ; elle délimite au point de vue épistémologique deux espèces. Parmi les physiciens, Rankine appartient à une espèce, en même temps que les cartésiens, les newtoniens, les atomistes, les mécanistes actuels ; la physique préscientifique et scolastique à l'autre.

5. — A partir de ce moment, d'ailleurs, la différence entre l'exposé de Rankine et le mécanisme traditionnel, n'est plus que dans la forme et le physicien anglais recon-

naît lui-même que « nous sommes conduits à toutes les conséquences de l'hypothèse mécaniste ».

IV. — CONCLUSIONS

L'œuvre de Rankine est bien une critique du mécanisme traditionnel, mais une critique qui vise à une réforme de la physique théorique et non à sa ruine, ou à sa refonte complète. Que reproche-t-il à la physique théorique qui, en synthétisant les théories atomiques et newtoniennes, faisait loi à son époque ? Il lui reproche sa méthode conjecturale, et la valeur ontologique, métaphysique qu'elle attribue aux résultats de cette méthode.

1. — La physique ne doit avoir confiance qu'en l'expérience ; elle ne connaît de vérités solides que sur le terrain expérimental. Elle doit donc se garder de s'éloigner de ce terrain et surtout de perdre de vue, lorsqu'elle s'en éloigne, le caractère conjectural des résultats auxquels elle aboutit alors. Les physiciens de l'époque en arrivaient à accorder la même réalité aux centres de force, aux points matériels, aux fluides impondérables, et aux atomes (le ou les fluides électriques, le calorique, etc.) qu'aux données de l'expérience. Certains même n'étaient pas éloignés de croire que ces hypothèses avaient des réalités plus hautes que les apparences sensibles. Rankine dénonce ce péril et demande à ce que la physique cesse de réaliser des abstractions, des idéaux nouveaux, pour suivre plus fidèlement la voie dans laquelle l'a engagée l'esprit moderne : *le mathématisme et l'expérience*. Voilà les deux caractères essentiels de la physique de la Renaissance : l'expérience, pour fournir les bases solides, tangibles de la science, pour construire une science qui soit un *savoir* ; le mathématisme, pour qu'on puisse déduire avec rigueur toutes les conséquences de l'expérience, afin de les prévoir d'une façon précise, pour qu'on puisse faire servir d'une façon assurée toutes les connaissances acquises à la découverte des connaissances nouvelles. L'ancienne logique formelle a suffisamment montré son impuissance avec la scolastique. Elle

est bonne pour le discours pratique, la dialectique des concepts communs. Elle n'a pas la précision, la sûreté, la puissance de déduction de la forme mathématique. Celle-ci est la logique nouvelle créée pour la science moderne. Plus encore que le contrôle et l'inspiration continus de l'expérience, l'application continue de la forme mathématique est caractéristique de l'esprit scientifique positif. Descartes et Galilée l'ont créé autant que Bacon. Rankine ne veut qu'une chose : rendre la physique plus purement expérimentale et plus rigoureusement mathématique. Et pour cela, il cherche à la débarrasser de ses conjectures trop aventurées, et des notions ontologiques sur lesquelles seule la dialectique peut avoir prise. L'intuition du géomètre répugne à tout caractère substantiel : il lui faut des intuitions qui soient de simples rapports quantitatifs. La déduction mathématique est mal à l'aise avec des éléments ontologiques. Aussi Descartes réduisait-il la matière à l'étendue, toute prête à devenir pour le géomètre un système relatif de situation. Il est donc permis d'affirmer qu'en renchérissant sur l'empirisme et sur le relativisme de la physique, et qu'en critiquant sur ce point le mécanisme traditionnel, Rankine n'a fait qu'obéir à l'esprit qui avait suggéré, à la fois, la révolution de la Renaissance, et, après une évolution ininterrompue et nullement achevée, le mécanisme traditionnel.

2. — Aussi, ne devons-nous pas nous étonner de trouver dans Rankine un véritable enthousiasme pour la science au progrès de laquelle il travaille, une confiance inébranlable dans les résultats qu'elle a acquis et dans ceux qu'elle fait espérer. Nulle trace de scepticisme, ni même d'agnosticisme dans l'œuvre du physicien anglais. La valeur objective de la physique est au-dessus de la critique, car l'expérience est supérieure, comme véracité, à tout raisonnement, à toute dialectique extérieurs qui voudraient la critiquer. L'expérience est la véracité même, la mesure de toute vérité. Ce que Rankine cherche, c'est à la débarrasser de tout élément qui viendrait l'altérer ou la déguiser. Comme il craint d'en trouver avec la méthode hypothétique,

il propose de l'abandonner. Il est en cela le fidèle continuateur de Newton qui a toujours rêvé d'une physique pure transcription de l'expérience ; il obéit aussi sans doute aux traditions empiriques de l'esprit anglais.

3. — Mais que devient la physique théorique, ainsi dépouillée de toute objectivité, en dehors de celle que possèdent les résultats expérimentaux qu'elle transcrit ? Pourquoi ne pas simplement considérer la physique comme un recueil de règles empiriques ? La physique théorique n'est-elle pas une superfétation ? Rien ne serait plus loin de la pensée de Rankine, et ce qu'il dit de la mécanique rationnelle, qui n'est pour lui qu'une théorie physique, la théorie définitive, idéale, d'un groupe de phénomènes physiques, montre clairement l'importance qu'il attache, à côté de la physique expérimentale, à la physique théorique. La forme théorique est la forme achevée de la science, l'idéal qu'elle poursuit. Une mathématique de l'univers physique, rigoureusement déduite, voilà bien la conception que ce novateur emprunte à Descartes et à la physique de la Renaissance. Seulement, il veut que cette mathématique soit rigoureuse, ne fasse pas intervenir des conjectures invérifiables. Il ne conçoit toute mathématique que comme un enchaînement logique d'abstractions tirées des faits.

Quelle valeur possède alors cette mathématique de la physique ? Elle possède précisément la valeur qui appartient à des abstractions et à des relations tirées des faits. La théorie physique a une valeur représentative. Elle est la représentation des liaisons imposées par l'expérience entre les groupes de phénomènes rassemblés selon les analogies de l'expérience. Elle est la représentation des phénomènes physiques à laquelle l'expérience nous amène au fur et à mesure de la découverte, invinciblement, nécessairement, universellement. La théorie physique n'est pas arbitraire ni inutile. Représentant le système des choses de l'expérience, elle est une classification descriptive naturelle de ces choses.

A quoi bon cette classification ? D'abord à nous représenter méthodiquement *l'expérience* si complexe et si con-

fuse ; elle est une méthode conforme à la méthode cartésienne, en ce qu'elle cherche une expression *claire et distincte* du donné.

Mais elle n'est pas seulement une *méthode d'exposition*. Elle est encore une articulation essentielle de la *méthode de recherche*. Le mécanisme traditionnel imaginait ses hypothèses pour rendre compte de la nature certainement, mais aussi pour augmenter nos connaissances. La physique théorique se présentait chez lui, comme une anticipation de l'expérience, comme l'ensemble de suggestions qui se prêtaient plus heureusement à l'investigation de l'inconnu. Une science, quelle qu'elle soit, ne peut se passer d'un si puissant levier. Il faut qu'elle continue à poursuivre ses découvertes, et pour cela, qu'elle utilise des idées préconçues. La théorie physique de Rankine, elle aussi, se prête à cette utilisation méthodologique. Seulement, elle vise à assurer à la méthode de découverte et d'investigation un caractère plus rigoureux, plus logique, moins imaginaire et conjectural. Par cela même qu'elle sera la description mathématique exacte de ce que nous savons du système de l'univers, des liaisons déjà enregistrées par l'expérience, la théorie physique doit permettre, par le développement logique de ses conséquences, de déduire des relations nouvelles entre lesquelles l'expérience décidera celles qui correspondent à la réalité. Le progrès en physique deviendra assimilable, avec les différences requises par les différences de l'objet, et le contrôle ininterrompu de l'expérience, au progrès dans les sciences mathématiques qui amassent de nouvelles richesses en développant déductivement les conséquences encore non aperçues de leurs précédentes thèses.

La théorie physique de Rankine est donc, à un double titre, un instrument de méthode : méthode d'exposition et de classification, méthode de suggestion et de découverte. Elle n'a abandonné sa valeur ontologique que pour prendre une valeur méthodologique plus rigoureuse, plus scientifique, plus directe et plus efficace. Tout ce qu'elle a perdu comme réalité, elle l'a gagné et au-delà, comme méthode.

L'œuvre de Rankine ne marque donc pas seulement une date dans l'histoire de la physique. Elle en marque une plus importante encore dans l'histoire de la logique des sciences physiques. Elle apparaît, d'après la conception de la logique, exposée plus haut dans l'introduction, le premier mouvement conscient et gros d'espérances, de cette logique des sciences physiques, vraiment scientifique et rationnelle, parce qu'elle s'appuie sur l'œuvre de ceux qui pratiquent chaque jour les sciences physiques.

4. — Il est à remarquer que Rankine ne rompt pas au point de vue du contenu de la théorie physique, avec la théorie antérieure. En suivant l'exposé de cette théorie nouvelle, on a pu observer combien il se rapproche du mécanisme traditionnel, si l'on dépouille les choses de leur expression verbale, si l'on cherche à en atteindre l'esprit. L'exposé méthodique des connaissances physiques ne diffère pas sensiblement même dans ses principes, mais surtout dans son enchaînement général, dès qu'a pris fin l'exposition des principes, de l'œuvre édifiée par le mécanisme traditionnel. Au fond, la nouvelle théorie physique, considérée dans son contenu, se rapproche autant de l'ancienne que si on la considère dans son esprit. Les innovations qu'on y note sont seulement les innovations que commandait la conscience plus grande prise, vers le milieu du xix^e siècle, par la physique de sa positivité, de l'éloignement où elle doit se tenir de toute métaphysique, si déguisée qu'elle soit. Le point de vue empirique et phénoméniste s'affirme comme le point de vue de la science physique, non que le physicien soit sceptique au regard des résultats qu'il atteint, *mais parce qu'il se refuse à envisager quoi que ce soit en dehors de ce qu'il perçoit* ; il n'a même pas à distinguer entre apparence et réalité, car il ignore strictement ce que signifient ces mots. Il a devant lui des faits ; ces faits sont pour lui le donné, rien que le donné, et tout le donné. Il ignore tout le reste, et surtout il ignore si, au sujet de ces faits, on peut se poser une question métaphysique, relative à une nature dont ils ne seraient que l'apparence.

Ce point de vue devait fatalement conduire à la construction d'une théorie physique, *autonome*. Et toutes les divergences que l'on rencontre dans cette construction en la comparant à celle du mécanisme traditionnel, ont pour but essentiel *l'autonomie* de la théorie physique. Rankine est donc conduit par l'évolution même de l'esprit positif et scientifique, à chercher en dehors des conjectures sur une nature dernière de la matière, constituée par les seuls éléments de la mécanique, les fondements de la physique théorique. De là, la construction énergétique qui est bien propre à la physique, et se passe d'une identification hypothétique et métaphysique entre les phénomènes physiques et les phénomènes mécaniques¹. C'est poussé par l'esprit rationnel et expérimental, qui, autrefois, avait jeté les grandes lignes du mécanisme contre la métaphysique péripatéticienne, qu'il dévie à son tour du mécanisme traditionnel. Il cherche avant tout l'autonomie de la science.

5. — La méthode préconisée par Rankine à la place de la méthode du mécanisme traditionnel, substitue aux constructions figuratives du mécanisme une construction conceptuelle. La représentation des phénomènes se fera, non par des intuitions qui empruntent à la perception visuelle et tactile ses données élémentaires, mais par des concepts quantitatifs, des abstraits qui ne peuvent être figurés que par des signes, par un algorithme indépendant de toute relation directe, naturelle, avec la réalité sensible. C'est là la modification profonde de la méthode; et cette modification résume au fond toutes les transformations que subit l'esprit de la physique. C'est parce que les représentations figuratives du mécanisme traditionnel étaient données comme des intuitions du réel, des éléments substantiels,

1. Si des physiciens actuels d'ailleurs restent attachés, et en grand nombre, au mécanisme, ce n'est plus par une conjecture métaphysique et une restauration de l'ontologisme du mécanisme traditionnel. C'est simplement parce qu'ils croient, d'après des expériences nouvelles, que les faits physiques se systématisent effectivement autour des faits de la mécanique ou à leur suite. L'autonomie de la théorie physique et sa positivité restent sauvegardées. L'œuvre de Rankine a laissé des traces indélébiles.

chosistes, que Rankine propose l'abandon de la méthode figurative. Sa méthode abstractive, conceptuelle, a pour premier avantage de ne pas pouvoir causer de méprise sur sa nature. Elle n'est qu'un instrument méthodologique ; elle n'est qu'un moyen d'exposition et d'investigation. Elle ne peut prétendre, sans absurdité, à une portée ontologique. La méthode abstractive d'emblée nous fixe sur un terrain, où il y a une vérité, une réalité, une objectivité, mais où vérité, réalité, objectivité, doivent être prises en un sens positif et expérimental, c'est-à-dire dans le seul sens qui soit vraiment acceptable. N'est-ce pas, en effet, les priver de toute signification que d'accepter que cette signification soit transcendante à l'expérience sensible ? N'est-ce pas invinciblement ouvrir la porte au doute qu'introduire dans la science physique des hypothèses sur la constitution *invisible* des phénomènes, qu'introduire toute une substructure hypothétique, qui s'est jusqu'ici dérobée à toute investigation ?

Mais si la construction conceptuelle des théories physiques est imaginée par Rankine pour donner à la science physique la positivité qui lui manquait encore dans le mécanisme, pour la garder mieux qu'avant de toute métaphysique et l'enfermer absolument dans les limites de l'expérience, on voit combien on aurait tort, sur la foi du mot : *concept*, et des autres mots employés par Rankine, de croire à un retour de la physique à la forme scolastique. Le concept n'est plus du tout une réalité intelligible qui s'oppose au sensible ou se dégage de ce sensible. Le mécanisme rationnel serait même moins éloigné de cette dernière conception — si l'on peut toutefois comparer deux attitudes si différentes — que le système de Rankine. Avec Rankine, le concept n'est plus qu'un signe représentatif de l'expérience sensible. Nous sommes plus que jamais dans la tradition nominaliste, naturaliste de la Renaissance. La théorie n'a de valeur que par les cas particuliers dont elle est le cadre, et un cadre qu'ils imposent. Les principes de la théorie, ce sont des lois présentées par l'expérience réelle, révélées par des cas sin-

guliers comme les expériences de Joule et de Mayer, et dont l'expérience permet ensuite l'extension à toutes les branches de la physique, parce que le réel répète en quelque sorte indéfiniment cette première singularité, et non parce qu'il est constitué par une qualité substantielle générale. La notion d'énergie est une abstraction tirée des expériences réelles ; c'est la représentation d'un élément qui se répète dans toute réalité physique, mais ce n'est pas une entité, une qualité substantialisée. La théorie conceptuelle de la physique ne rappelle en rien la philosophie du concept. L'usage que Rankine fait du concept, usage symbolique, est aux antipodes de l'usage qu'en faisait la scolastique. La théorie physique n'est pas un ordre rationnel transcendant aux apparences sensibles : c'est un ordre rationnel, certes, mais auquel l'expérience sensible est immanente.

Le rationnel garde bien son sens cartésien ; il reste le monde des idées claires et distinctes, de la grandeur, de la méthode mathématique, justiciable des principes de la mathématique. Ce n'est pas le monde des généralités vides, de la qualité, de la méthode syllogistique, justiciable des seuls principes de la logique formelle. La théorie physique suit les conditions de l'expérience, et son ordonnance logique se confond avec l'ordonnance de la nature ; l'une ne peut exister sans l'autre ; elles sont fonction l'une de l'autre.

CHAPITRE II

Les idées de Mach et l'énergétique d'Ostwald.

Les bases expérimentales de la Physique nouvelle.

I. — *Introduction.*

1. Coup d'œil général sur l'œuvre de Rankine. — 2. Rapports entre l'œuvre de Rankine et l'œuvre de Mach et d'Ostwald : l'évolution de la physique conceptuelle. La transformation de la méthode s'accompagne d'une transformation de la conception générale de la physique : Mach et Ostwald dégagent essentiellement les rapports de la conception nouvelle avec l'expérience.

II. — *Partie négative. — Point de vue général de Mach.*

1. Certaines expressions de Mach pourraient faire croire à une théorie sceptique. — 2. Ce serait une méprise : la foi de Mach en l'objectivité de la physique ; son septicisme ne vise que la thèse particulière du mécanisme traditionnel.

III. — *Partie négative (Suite). — Les artifices de la conception générale du mécanisme.*

1. Le mécanisme est un préjugé historique. — 2. C'est une hypothèse artificielle : a) Il n'existe pas de phénomènes purement mécaniques ; b) Les autres branches de la physique suggèrent des notions analogues et parallèles aux notions fondamentales de la mécanique, et non des notions qui dérivent de ces dernières. — 3. Le mécanisme ne s'impose pas comme la forme la plus commune des théories physiques. — 4. La liaison des phénomènes physiques aux phénomènes mécaniques n'implique pas la réduction des premiers aux seconds. — 5. Le mécanisme n'est pas par lui-même une bonne formule d'investigation. Il n'est qu'une application partielle, qui fut momentanément heureuse, de la bonne formule.

IV. — *Partie positive. — La conception générale de la physique conceptuelle et énergétique envisagée dans les attaches avec l'expérience.*

1. La théorie conceptuelle est plus objective, plus naturelle que le mécanisme. Elle est un nouveau progrès dans la voie concrète ouverte par le mécanisme. — 2. Comment elle se situe dans le développement de l'esprit traditionnel de la physique moderne : elle est au mécanisme ce que la géométrie analytique est à la géo-

métrie synthétique, ce que la mécanique analytique de Lagrange est à la mécanique géométrique de Descartes et de Newton. — 3. Les grandes lignes de la physique conceptuelle et énergétique. — *La nature des principes* : ils sont des résidus d'expériences très nombreuses, et plus ou moins conscientes, ce qui explique leur objectivité et leur fécondité. — 4. Le travail de l'esprit sur les données de l'expérience : *l'économie de la pensée*. — 5. Sens exact de cette formule : la pensée s'adapte à l'expérience. — 6. *L'unité de la systématisation scientifique*. — Le développement de la science n'est contingent qu'en apparence ; une forme déterminée de science s'impose universellement, l'évolution est au fond unilinéaire. — 7. La systématisation reste profondément imprégnée d'empirisme. — 8. *L'analyse des sensations*. La sensation est déjà abstraction : la science n'est que la continuation de ce processus d'abstraction : mais ce processus n'a rien d'arbitraire. Il est un moyen de pénétrer la réalité, et reste en contact constant avec elle. L'abstraction n'est pas une idéologie qui altère la réalité : c'est une *analyse des sensations*. — 9. Comment il faut entendre la relation causale.

V. — *L'énergétique d'Ostwald.*

1. Ostwald réalise dans le domaine de la physique les idées de Mach sur la science en accentuant la direction indiquée par Rankine. — 2. L'équivalence des énergies. — 3. Les variations d'énergie constituent toute la réalité de la sensation. — 4. L'énergie est l'invariant universel, le fond commun et réel de toute sensation. — 5. L'objectivité de la physique énergétique d'Ostwald.

VI. — *Conclusion.*

1. Objectivité de la physique. — 2. Son expérimentalisme. — 3. Adaptation de l'esprit aux choses. — 4. L'esprit de la Renaissance continue à animer l'énergétique. — 5. Le mathématisme de l'énergétique.

I. — INTRODUCTION

1. — L'énergétique de Rankine avait été conçue, en somme, comme une réforme de la théorie physique dans un sens moins conjectural. C'était pour supprimer la part de l'arbitraire, du symbole, de l'idée *a priori*, de l'imagination individuelle qu'il avait été conduit à formuler les principes d'une nouvelle physique théorique.

Loin de trouver une antinomie entre l'énergétique et la mécanique rationnelle, loin de vouloir transformer la mécanique, son ambition est de construire pour toutes les parties de la physique une théorie *identique*, dans sa *forme*, à celle sous laquelle la mécanique est traditionnellement exposée. La mécanique rationnelle, voilà donc le modèle qu'il se propose. Il veut, comme le mécanisme se l'était

lui-même proposé d'abord, trouver un système qui représente la nature d'une façon aussi *objective* que possible, et trouver en même temps la façon la plus simple, la plus aisément communicable et la plus féconde de l'exposer ; mais il reste bien entendu que c'est l'objectivité qui d'abord s'impose à la recherche ; l'objectivité, c'est-à-dire la représentation intelligible de l'expérience.

Rankine ne peut être considéré par l'historien, que comme le continuateur de cette tendance qui a poussé, depuis la Renaissance, la physique dans une voie bien définie.

Il n'a pas inauguré une critique destructive. Il a fait une critique réformatrice qui se propose uniquement de faire avancer la physique dans la voie positive où elle est entrée, avec les premières découvertes de la mécanique.

2. — Cette critique réformatrice, les successeurs de Rankine vont la poursuivre avec le même esprit — réformateur, nullement révolutionnaire — mais d'une façon plus large en même temps que plus profonde, comme il convient aux développements successifs d'une même idée première. L'œuvre de Rankine se ramenait à une partie critique et à une partie positive. La partie critique s'attaque à la méthode du mécanisme et la rejette comme trop conjecturale. La partie positive propose essentiellement une nouvelle méthode, comme plus conforme à cet esprit, et à l'idéal scientifique des temps modernes. Il s'agit donc surtout d'une critique de la méthode.

Les successeurs de Rankine vont compléter cette partie destructive et cette partie constructive. Au lieu d'attaquer le mécanisme seulement dans sa méthode, ils l'attaqueront dans son contenu, en le comparant à l'expérience qu'il prétend exprimer. Cet élargissement de la critique négative entraîne dans la construction positive une ampleur nouvelle. Ils montreront comment la méthode préconisée par Rankine exprime l'expérience d'une manière plus satisfaisante. *Ils mettront en évidence les attaches de la nouvelle conception avec l'expérience*, ses bases expérimentales et objectives.

De tous les savants qui bifurquent dans cette voie, Mach et Ostwald sont peut-être ceux qui se sont astreints à analyser de plus près l'esprit qu'elle implique et les raisons qui faisaient abandonner l'ancienne. On suivra surtout, dans l'exposé qui va suivre, les idées de Mach parce qu'elles sont très systématiques et très explicites. On les complétera, quand il y aura lieu, en se référant à Ostwald qui, avec Helm, Planck et Popper, a été un des plus ardents soldats de la cause énergétiste.

II. — POINT DE VUE GÉNÉRAL DE MACH

1. — A parcourir rapidement certaines parties de l'œuvre scientifique de Mach et des principaux successeurs de Rankine, on serait tenté de croire d'abord que leur conception générale s'approche bien du scepticisme, tout au moins de la conception d'une science formaliste et conventionnelle.

Mach considère, dans tout développement scientifique, une période expérimentale, une période déductive, et une période formelle. Avec les deux premières, nous avons encore un contact avec le réel, quoique, dans la seconde, ce contact paraisse plutôt illusoire : dans cette période, en effet, la science substitue aux faits des images *mentales*¹ qui dispensent de recourir à l'observation.

Le travail scientifique devient alors essentiellement subjectif : c'est une construction dans l'esprit et par l'esprit ; c'est une œuvre de l'imagination. Le mécanisme traditionnel en est un exemple.

Mais que dire alors, lorsque de la période déductive, nous passons à la période formelle ? Toute préoccupation d'objectivité semble cette fois bannie. On ne cherche qu'à arranger en un tableau synoptique les résultats scientifiques. Et dans cette recherche, on n'a qu'un but : la commodité, l'aisance. Peu importent les phénomènes naturels, leur variété, leur individualité réelle. La science, à ce stade, cherche une construction qui soit aussi *uniforme* que possible, partant

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 397.

aussi loin qu'il est imaginable, de la réalité. Elle vise non à nous faire connaître le réel, mais à nous éviter une fatigue intellectuelle, à *économiser* nos efforts de pensée¹.

Et ailleurs, on trouve l'expression de *mythologie mécanique*, appliquée à la conception scientifique du XVIII^e siècle. Cette mythologie mécanique est comparée à la mythologie animiste des anciennes religions². La science n'est qu'un phénomène biologique³; la pensée vulgaire et la pensée logique sont deux moments de l'évolution de ce phénomène : et le dernier n'est même qu'un cas limite, idéal du processus. Mach appellera un « état spécial de notre intellectualité », et il faut entendre par cette expression, un cas pathologique, une illusion morbide, la croyance à une correspondance réelle entre la nature et les concepts abstraits de la physique (masse, force, atome, etc...). Ces concepts sont simplement des éléments de systématisation, des classeurs imaginés dans un but d'économie. « Ce sont des moyens intellectuels auxiliaires dont nous nous servons pour la *représentation* du monde sur la *scène de la pensée* ⁴ ». Les mots soulignés le sont par Mach lui-même. On remarquera qu'ils ont pour but de faire ressortir la subjectivité des procédés physiques.

La physique n'a-t-elle pas, après cela, tout l'air d'une construction arbitraire de l'esprit ?

2. — Mais, ailleurs, et quelquefois à côté même des passages que nous venons de citer, on pourrait lire des passages qui ne laissent qu'une interprétation possible et dans un sens tout opposé. Mach revient notamment à plusieurs reprises sur cette idée que la science est avant tout libératrice. Elle nous affranchit de l'ignorance, et elle éclaireit notre esprit : « Celui qui, à travers la littérature seulement a pu participer à cet essor et à cette libération, conserve toute sa vie pour le XVIII^e siècle, un sentiment de mélanco-

1. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 437, 438.

2. *La Mécanique*, tr. fr., p. 462, 463.

3. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 410 ; *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, p. 16, 75, 219, 243 ; *Analyse der Empfindungen*, p. 209.

4. *La Mécanique*, tr. fr., p. 477.

lique regret¹. » Si la science affranchit de l'ignorance, certes elle ne peut être une construction arbitraire. Cette phrase implique qu'il y a une vérité objective, que la science a pour fonction de la découvrir et de l'exprimer, enfin que la science seule peut atteindre ce but. D'autre part, si la science est une adaptation de la pensée, c'est une adaptation progressive et croissante, une adaptation qui adapte de mieux en mieux la pensée à l'objet, et dont la réussite va sans cesse en augmentant.

Les formules de Mach que j'ai citées tout à l'heure, ne sont donc pas une critique de la valeur objective de la physique en général, mais seulement de la valeur objective de la physique mécaniste, et c'est pourquoi elles sont parfaitement compatibles avec une doctrine de l'objectivité de la physique et de la science en général.

III. — CRITIQUE D'ENSEMBLE DE LA CONCEPTION MÉCANISTE

1. — L'exposé de l'esprit général de la conception de Mach commence donc nécessairement par une critique d'ensemble du mécanisme. C'est cette critique qui nous amènera insensiblement à la conception positive inébranlable de l'objectivité physique. « L'opinion qui fait de la mécanique la base fondamentale de toutes les autres branches de la physique, et suivant laquelle tous les phénomènes physiques doivent recevoir une explication mécanique, est selon nous un *préjugé* », dit Mach². Ce préjugé a une origine purement historique. Il vient de ce que les découvertes qui ont servi de base à la mécanique ont été les premières qui aient été effectuées à propos des phénomènes physiques. C'est par les lois de la chute des corps, et les phénomènes de la pesanteur, dans notre petit monde terrestre, c'est par l'examen du mouvement des corps célestes que l'étude de la nature a commencé lors de la Renaissance. Les premières grandes lois physiques, les premiers principes sont tous

1. *Id.*, p. 429.

2. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 465.

relatifs aux masses, aux mouvements et aux vitesses, aux espaces parcourus et aux temps employés à les parcourir, aux forces et aux accélérations, c'est-à-dire aux changements de vitesse dans le mouvement des corps matériels. Depuis Galilée jusqu'à Newton, en passant par Kepler, Descartes, Roberval, Guericke, Fermat, Torricelli, Wallis, Mariotte, Boyle, Huygens, Lami, etc., on ne s'occupe que de relations entre les masses, des mouvements, des temps et des espaces. Il se trouve que ces relations s'expriment très facilement sous forme numérique et géométrique et constituent presque immédiatement un système remarquable par son unité, sa simplicité, sa logique : il embrasse les mouvements de masses dont l'énormité dépasse les exagérations faciles de l'imagination. Il s'étend jusqu'aux oscillations d'un pendule, ou aux tremblements des grains de poussière. Il s'applique à tous les mouvements non contrariés que la nature nous permet d'observer. On découvre, à mesure qu'on expérimente, que tout est pondérable, et par suite obéit aux lois de la mécanique. De là, la croyance naturelle, instinctive, nécessaire, que ce système si simple et si logique est le système complet de la nature : l'ensemble des conditions nécessaires et suffisantes de l'univers. Et comme dans cette voie les succès s'ajoutent aux succès, comme d'autre part on peut toujours, s'il y a infraction aux prévisions de la mécanique, supposer un agencement invisible des particules qui expliquent cette infraction apparente par les lois mêmes qu'elles semblaient violer, la conception mécanique de la nature nous apparaît comme une hypothèse fort explicable historiquement, et fort utile pour un temps¹.

2. — Ces circonstances historiques, les progrès dont la science lui sont redevables, excusent le mécanisme².

Mais elles ne sont qu'une excuse, elles ne sont pas une

1. ANDRADE (*Revue de métaphysique*, mars 1899, p. 178), développe la même idée que Mach : le mécanisme est dû à des associations d'idées fortuites ; ces associations d'idées ont leur cause dans l'ordre historique fortuit des découvertes qui concernent les phénomènes naturels.

2. MACH, *La Mécanique*, trad. fr., p. 466.

légitimation. L'hypothèse est artificielle, et les raisons pour le montrer seraient nombreuses et convaincantes.

2. — a) La première, et qui n'est certes pas la moins importante, c'est qu'il n'existe pas de phénomènes purement mécaniques. Ceux-ci sont des abstractions intentionnelles ou forcées, dont le but est de faciliter l'étude d'une catégorie de phénomènes physiques. Mais en toute rigueur, un phénomène physique, quel qu'il soit, relève de toutes les branches de la physique « qui n'ont été distinguées l'une de l'autre que pour des raisons conventionnelles, physiologiques, ou historiques¹ ».

Le préjugé qui a donné aux conditions du mouvement, dans l'examen d'un phénomène physique, une importance prépondérante par rapport aux variations thermiques, magnétiques, électriques et chimiques, a bien une signification historique. Mais l'ancienneté historique n'est pas un titre à l'universalité d'une explication scientifique. Les lois et les principes, chronologiquement premiers, ne sont pas nécessairement ceux qui doivent rester premiers au point de vue logique. Ils ont présidé aux débuts de la science ; rien ne prouve qu'ils doivent présider à son développement tout entier, et que les origines de la connaissance scientifique en doivent demeurer la base inébranlable, malgré les découvertes postérieures.

Il semble bien plus naturel, au contraire, de penser que chaque découverte nouvelle doive modifier la base des conceptions antérieures, sans pourtant les renverser, puisqu'elles avaient des raisons d'être, des titres scientifiques qui ne peuvent être anéantis.

Dans la mécanique, par exemple, on ne considère plus le théorème du levier qui énonce pourtant la loi la plus ancienne des phénomènes mécaniques comme la base de toutes les autres. Les découvertes postérieures ont montré qu'elle n'était qu'une conséquence particulière d'une loi plus générale. Pourquoi n'en serait-il pas de même de l'ensemble de la physique par rapport à la mécanique ?

1. *Id.*, p. 465.

2. — b) Comparons d'ailleurs les idées directrices des divers domaines de la physique, et cherchons pour chacune d'entre elles dans une branche, celles qui leur correspondent dans les autres branches, en considérant la mécanique comme une de celles-ci. Au lieu de trouver dans les différentes branches des lois dérivées, conséquences des principes de la mécanique, on trouve, au contraire, des principes comparables à ceux de la mécanique. Ils ont une extension et une compréhension analogues. Les lois générales de la mécanique sont donc sur le même plan, sur le même niveau que les autres lois générales de la physique : elles ne leur commandent point.

Ainsi, les températures et les potentiels électriques, chimiques, correspondent aux vitesses des masses en mouvement. « Une valeur donnée de la vitesse, de la température ou du potentiel ne varie pas *d'elle-même*. La masse correspond à la capacité calorifique, la quantité de chaleur au potentiel d'une charge électrique, l'entropie à la quantité d'électricité¹, etc. » On pourrait poursuivre ces analogies. Mais il suffit de les énoncer pour montrer que les concepts de masse ou de vitesse n'ont rien en eux-mêmes qui indique que les autres concepts dont use la physique s'y doivent réduire. Pourquoi essayer de ramener la chaleur et la température, la quantité d'électricité, le potentiel d'une charge électrique, etc., à des modalités du mouvement moléculaire, c'est-à-dire à des masses et à des vitesses, puisque masses et vitesses sont leurs analogues dans le domaine du mouvement ? Toutes ces notions sont des définitions parallèles, qui jouent un rôle parallèle selon l'apparence phénoménale sur laquelle nous concentrons notre attention. Rien n'autorise à faire de certaines d'entre elles, celles qui touchent au mouvement et à la mécanique, le fondement nécessaire de toutes les autres².

3. — Dira-t-on qu'en procédant ainsi, on donne une forme plus simple, plus commode, plus systématique à l'ensemble des connaissances physiques ? On diminue le

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 467.

2. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 396.

nombre des faits fondamentaux et des principes, puisqu'on les réduit aux faits fondamentaux et aux principes de la mécanique, en supprimant toutes les notions primordiales qu'il faudrait autrement postuler dans chacune des branches de la physique. N'y a-t-il pas là, à supposer que les hypothèses mécanistes n'aient pas de valeur objective, une épargne, une économie d'efforts pour la pensée ? L'énergétisme qui, on le verra tout à l'heure, accorde une très grande importance à cette économie de la pensée, devrait-il condamner un système aussi pratique ?

C'est précisément contre la commodité, l'utilité pratique du mécanisme que proteste Mach ; c'est pour des raisons de commodité et d'utilité pratique qu'il le rejette. Il n'y a ni économie d'efforts, ni épargne de pensée dans une hypothèse mécaniste. D'abord, la plupart du temps, elle s'ajuste mal aux phénomènes qu'elle prétend embrasser. De là, la nécessité de *corrections* continuelles qui sont toutes des complications nouvelles, des embarras, des causes d'obscurité, des pertes de temps ou d'efforts. Le mécanisme, dans l'ignorance où nous sommes de la véritable constitution des corps et de leurs éléments ultimes, s'établit sur des moyennes vagues, des figurations très approximatives. Il en résulte un écart forcé entre les déductions correctes du système et les données exactes de l'expérience. De plus, ces incertitudes dans de nombreuses parties de la physique introduisent des lacunes considérables, une impossibilité absolue de représenter même très approximativement les apparences réelles, par exemple, les phénomènes irréversibles, ou même les conséquences du principe de Carnot. Il faut alors introduire des mouvements et des masses cachés, que l'expérience ne révèle pas, qu'elle ne pourra jamais révéler, et qui entraînent des relations compliquées et difficiles ¹.

Enfin, et c'est là la raison capitale, en admettant par impossible que dans une branche de la physique, le mécanisme arrive à fournir une hypothèse adéquate et com-

1. OSTWALD, *Revue générale des Sciences*, 15 décembre 1895, p. 1070,

plète, comme la théorie mécanique de la chaleur, d'après Gibbs, par exemple, il n'aura rien fait que doubler les relations réelles d'un second système de relations, celui-là symbolique. Où seront l'économie et l'épargne¹? Pourquoi ajouter à chaque relation empirique, une relation symbolique qui ne dira pas autre chose, et le dira toujours d'une façon moins réaliste²?

4. — Il est vrai qu'il existe entre tous les phénomènes naturels et les phénomènes mécaniques, une liaison manifeste. Mais il faut prévenir une illusion grossière. Quand un principe de mécanique permet l'explication de phénomènes physiques, admettant comme variables des quantités qui ne sont pas données dans l'expérience sous forme de mouvements, cela ne veut pas dire que ces variables en dernière analyse recouvrent des mouvements, mais simplement qu'il y a une relation quantitative invariable entre les phénomènes mécaniques et des phénomènes d'autres catégories. Les variables ne sont pas des variables indépendantes dans les relations considérées; elles dépendent de la variable mouvement, mais elles ne sont nullement des valeurs particulières de cette variable. C'est ce qui explique en particulier le rôle du principe de la conservation de l'énergie qui est une généralisation d'un principe de la mécanique, quand on ne considère que l'énergie potentielle de position, et l'énergie cinétique de mouvement. Mais dans la nature, l'énergie ne se présente pas tout entière sous la forme de positions et de mouvements. Un travail effectué,

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 468.

2. Les mécanistes ont répondu d'ailleurs sur ce point à leurs adversaires, qu'une hypothèse « peut faciliter considérablement l'intelligence de faits nouveaux en leur substituant des idées déjà familières, et son efficacité est dès lors prouvée » (MACH, *La Mécanique*, p. 468). Aucun énergétiste, à ma connaissance, n'a répondu d'une façon convaincante à cette contre-objection. Mach se contente de la reproduire sans essayer sa réfutation, puisque je lui emprunte l'énoncé ci-dessus. Mais apparemment aucun énergétiste non plus ne l'a trouvée suffisante pour modifier sa critique du mécanisme. L'historien ne peut que constater leur silence sur ce point. La critique pourrait s'y arrêter sérieusement et y trouver un argument capital en faveur des hypothèses mécanistes.

(un déplacement mécanique) ne produira pas nécessairement de la force vive, mais encore de la chaleur, de l'électricité, etc., etc. ; de même une force vive peut ne pas être produite par un déplacement mécanique, mais par une destruction de chaleur, un courant électrique, etc. Rien n'autorise à considérer tous ces nouveaux termes comme une forme apparente d'un travail mécanique ou d'un mouvement cachés. On l'a cru, parce que c'est à propos des phénomènes mécaniques que le principe fut d'abord formulé. Il n'y avait aucune autre raison, il n'y a aucune raison de le croire ¹.

5. — Il n'y a non plus aucune raison de croire qu'un « examen plus approfondi et plus général des sciences de la nature ait premièrement été la conséquence de la conception mécanique de l'univers ² ». Le mécanisme n'est pas par lui-même une bonne formule d'études comme on l'a soutenu quelquefois, et qui se recommanderait sinon par sa valeur théorique, au moins par ses services pratiques dans la chasse de Pan. Mach croit que la construction de la mécanique, comme les autres progrès de la physique, sont dus à des causes plus générales, qu'ils sont des effets parallèles et partiels d'une même attitude d'esprit, une conséquence des mêmes principes fondamentaux de la recherche. Mais la mécanique est effet partiel, conséquence partielle, résultat. Elle n'est pas cause, elle n'est pas principe. Ce qui est utile dans la construction de la physique, le facteur de ses progrès, ce n'est pas la conception mécaniste, c'est une conception plus ample et plus profonde dont la conception mécaniste est une application momentanée, relative et particulière. En quoi consiste cette conception générale ? On en trouve aisément les caractéristiques essentielles en analysant l'œuvre des grands investigateurs de la nature. On voit alors qu'ils ont toujours cherché à « faire alterner la considération du phénomène particulier avec celle de l'ensemble total ». Ils ont continuellement comparé — et Mach élève la *comparaison* au

1. MACH, *La Mécanique*, trad. fr., p. 468, 469.

2. *Id.*

rang d'un principe fondamental de la méthode physique¹ — l'expérience singulière qui provoquait leur investigation, avec tout un riche ensemble d'expériences conservées, accumulées d'une façon latente dans leur pensée. Elles constituaient le capital de réserve qui leur permettait d'exploiter le domaine ouvert à leur curiosité, et de produire la découverte scientifique.

L'analogie, l'assimilation qui provoquent immédiatement la généralisation d'une loi, son extension à des cas nouveaux, et souvent par un choc en retour, sa rectification, tout ce travail fondamental dans la découverte scientifique, vient de ce que l'esprit du savant contenait une multitude d'expériences antérieures, plus ou moins précises. Ces expériences se condensent peu à peu en une représentation active qui brusquement s'applique à un cas particulier et l'éclaire d'un jour nouveau. La lumière projetée sur le phénomène jusque-là inaperçu, ou mal aperçu dans l'ombre qui l'enveloppait encore, se réfléchit, revient pour ainsi dire sur son propre trajet, avec une clarté nouvelle et plus vive².

Dans ce travail, il est arrivé, surtout aux débuts de la physique, alors que seuls étaient aperçus les phénomènes pour l'étude desquels s'est construite la mécanique, que les représentations formées par les expériences multiples, accumulées dans l'esprit, et qui présidaient d'une façon latente à la découverte, étaient des représentations mécaniques. Mais il n'y a là qu'une contingence historique et une apparence momentanée. Les représentations qui condensent les expériences dans les esprits scientifiques actuels sont certainement autres, grossies par tout ce qu'ils savent maintenant de phénomènes qui n'ont aucun rapport avec la mécanique. Elles ont même tout à gagner à s'éloigner autant qu'il est possible de la forme mécaniste. Celle-ci est extrêmement particulière et partielle³. Elle représente

1. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 391; *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, p. 266-268.

2. *Id.*, p. 469, 470.

3. ANDRADE, dans l'article de la *Revue de métaphysique* déjà

dans la physique la période des origines, une période de savoir restreint, une quantité minime de faits expérimentaux, en comparaison de ceux dont nous disposons actuellement, et qu'il nous faut utiliser, si le travail scientifique veut être fécond, et ne pas se laisser limiter par un passé étroit.

L'énergétique a précisément pour but d'élargir la base des conceptions physico-chimiques. Il repose sur tous les résultats obtenus dans toutes les branches des sciences physico-chimiques. Il les condense virtuellement, il les fait agir tous ensemble dans l'esprit du savant. Il est une représentation aussi complète qu'on le peut souhaiter, l'ensemble imposé par la totalité de l'expérience, sans privilèges arbitraires pour une partie de cet ensemble.

Non seulement, donc, le mécanisme nous apparaît comme une complication inutile, une perte d'efforts considérable de la part de ceux qui tiennent à cette hypothèse ; mais encore il doit être considéré comme préjudiciable à la découverte scientifique, comme nuisible. En empêchant dans l'esprit du savant certaines analogies fécondes, en restreignant l'extension du domaine où peuvent naître ces analogies, il le porte à négliger des faits importants, ou à les mutiler et les altérer pour les faire entrer dans une construction trop étroite ¹.

Laissons donc la construction mécanique à sa place, et à son rôle : elle est une systématisation partielle de certains phénomènes physiques : la systématisation des phénomènes mécaniques. Elle ne doit pas viser à être une systématisation totale de l'ensemble des phénomènes physico-chimiques ², l'inventaire synoptique et complet des faits que poursuit la physique.

cité : Les concepts métaphysiques du mécanisme (1899, p. 177), expose les mêmes idées. De même Ostwald dans la *Revue générale des Sciences* du 15 novembre 1895.

1. *Principien der Wärmelehre*, p. 429 (Sur le danger métaphysique qui résulte de l'atomisme).

2. *Principien der Wärmelehre*, p. 461.

IV. — PARTIE POSITIVE :

LA CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA PHYSIQUE

1. — Mais si la physique énergétique doit se substituer à la physique mécaniste, comme une adaptation plus étroite au réel, elle *n'en continue pas moins son œuvre*. Elle reste dans la tradition scientifique, et Mach, pour le mieux montrer, fait l'histoire de cette tradition. Il nous montre comment le mécanisme a développé l'esprit scientifique, à son heure, l'a éloigné de son asservissement à la religion et à la métaphysique ; comment il n'a accompli la dernière partie de cette tâche que d'une façon incomplète, et comment l'énergétique a précisément la prétention de la compléter sur ce point. L'énergétique est la conséquence nécessaire des progrès de la science, des découvertes du xix^e siècle, comme le mécanisme, la conséquence des découvertes du xvi^e siècle et du xvii^e. L'énergétisme continue le mécanisme, si on ne voit en celui-ci que ce qu'on doit y voir : un moment de l'adaptation scientifique inaugurée par le rationalisme grec dans le domaine de la mathématique, poursuivie par le rationalisme de la Renaissance et les cartésiens dans une branche particulière de la physique, et que développe et prolonge dans les autres branches l'énergétisme lui-même. A la suite de Mach, refaisons cette histoire, en ce qui concerne la physique.

2. — La physique, dit Mach, eut d'abord à lutter contre l'église et la religion. L'histoire de ses origines à partir du xv^e siècle est un long martyrologe. Mais ce n'est pas seulement contre la religion constituée, contre l'autorité ecclésiastique qu'eut à lutter la science : ce serait une grosse erreur de le croire. C'est contre l'esprit religieux sous toutes ses faces, et jusque dans ses conséquences les plus lointaines, les moins aisément perceptibles, que le combat dut s'engager, combat de tous les instants et où souvent l'esprit scientifique manqua d'être vaincu et de disparaître. En tout cas, souvent, il dut s'incliner. Ce combat avait pour théâtre la pensée des savants eux-mêmes : leur esprit scientifique eut à lutter contre les idées préconçues et latentes,

déposées en eux par une éducation théologique et par le milieu, en un mot, contre leur propre esprit religieux. Aussi les principes de la physique — alors à peu près réduite à la mécanique — ont-ils tous, au début, malgré l'émancipation de la science à l'égard de la théologie, une forme théologique, religieuse ou métaphysique, ou sont-ils reliés à des considérations métaphysico-théologiques¹. De cela Mach cite de nombreux exemples : Descartes, Napier, Pascal, Otto de Guericke, Newton, Leibniz, Euler, ont des préoccupations d'apologétisme religieux, qui persistent dans leur œuvre physique. Galilée reprend les tendances finalistes qu'on trouve chez Héron et chez Pappus. Ces tendances finalistes, on les rencontre chez Fermat et chez Jean Bernouilli, chez Maupertuis enfin, et chez Euler à propos des principes de la moindre action, de l'invariabilité de la quantité de matière, de la constance de la somme des quantités de mouvement, de l'indestructibilité du travail ou de l'énergie. Il ne faut pas croire d'ailleurs que ce conflit entre l'esprit religieux et l'esprit scientifique reste toujours latent et ne se traduise que dans l'analyse attentive des formules et des résultats. Ce conflit est loin de s'ignorer lui-même, et tous les grands chercheurs dont nous venons de citer les noms essayent de le résoudre et de libérer leur conscience scientifique. C'est dans leur physique un effort continu².

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 346, 419.

2. « Pendant toute la durée des xvi^e et xvii^e siècles, et jusqu'à la fin du xviii^e, la tendance universelle était de voir dans chacune des lois physiques une ordonnance particulière du Créateur. Un observateur attentif voit pourtant cette idée se transformer graduellement. Tandis que, pour Descartes et Leibniz, la physique et la théologie sont encore fort mêlées, plus tard on aperçoit un effort marqué, si pas pour écarter complètement la théologie, du moins pour la séparer nettement de la physique. La théologie est reléguée soit au commencement, soit à la fin des traités de physique; chaque fois que la chose est possible, le domaine théologique est restreint à la création et laisse, à partir de là, le champ libre à la physique.

» Vers la fin du xviii^e siècle, on est frappé par un revivement en apparence tout à fait subit, mais qui, au fond, est une conséquence nécessaire du processus de développement que nous avons décrit. Lagrange, après avoir, dans une œuvre de jeunesse, voulu baser

Cette libération est surtout l'œuvre de la mécanique. Elle se présente à l'historien, comme l'affranchissement de l'esprit scientifique, comme l'avènement définitif et incontesté du positivisme, au sens large du mot. On pourra réduire ensuite la mécanique à n'être qu'une systématisation partielle de la physique. Il n'en reste pas moins qu'elle est dans cette mesure l'expression de l'esprit scientifique précis et net, pur de tout mélange. Il n'en reste pas moins qu'elle est dans son domaine l'expression de la saine tradition scientifique telle qu'elle sera continuée par toute science digne de ce nom. Si la science ajoutera aux principes et à la construction de la mécanique, si elle les dépas-

toute la mécanique sur le principe de la moindre action d'Euler, reprit à nouveau le même sujet et déclara qu'il voulait s'abstenir entièrement de toutes spéculations théologiques, comme très *nuisibles* et absolument étrangères à la science. Il reconstruisit la mécanique sur d'autres bases, et aucun esprit compétent ne peut nier la supériorité du nouvel exposé. Après Lagrange, tous les hommes de science adoptèrent sa manière de voir, et c'est ainsi que fut déterminée dans son principe, la position actuelle de la physique vis-à-vis de la théologie.

» Environ trois siècles furent donc nécessaires pour que l'idée de la distinction complète entre la physique et la théologie se soit entièrement développée, depuis son premier germe chez Copernic jusqu'à Lagrange.

» Le préjugé se dissipa peu à peu, lentement, à mesure que les grandes découvertes géographiques techniques et scientifiques du xv^e et du xvi^e siècles agrandissaient l'horizon, et que se dévoilaient les domaines où l'ancienne conception se trouvait impuissante, parce qu'elle s'était formée *antérieurement* à leur acquisition. La grande liberté de pensée qui se manifeste dans des cas isolés, à l'aube du moyen âge, chez les poètes d'abord et les savants ensuite, reste cependant toujours difficile à comprendre. Le progrès intellectuel à cette époque doit avoir été l'œuvre d'un très petit nombre de penseurs isolés vraiment extraordinaires, dont les idées ne devaient tenir que par des fils bien ténus aux conceptions populaires, et étaient bien plus propres à bousculer et à violenter celles-ci qu'à en amener la transformation. Ce n'est que dans les écrits du xviii^e siècle que l'œuvre d'éclaircissement semble gagner du terrain. Les sciences humanitaires, historiques, philosophiques et naturelles se touchent et se prêtent un mutuel secours dans la lutte pour la pensée libre. Celui qui, à travers la littérature seulement, a pu participer à cet essor et à cette libération, conserve toute la vie pour le xviii^e siècle un sentiment de mélancolique regret. » (MACH, *La Mécanique*, tr. fr., 427, 19.)

sera, elle n'aura pas à les renier. Elle ne rompra plus la chaîne ; elle y soudera des maillons.

Les solutions de maximum et de minimum, les plus courts chemins selon lesquels semblent toujours se propager tels ou tels mouvements, le principe de la moindre action, tout cela n'a plus rien à voir avec le préjugé d'une prétendue économie de la nature et d'une sage providence (puisque on peut montrer autant de preuves de la plus étonnante prodigalité et du hasard le moins sage)¹ : « Il est donc bien moins imposant, mais par cela même beaucoup plus clair en même temps que plus rigoureux et plus général, au lieu de parler de la tendance économique de la nature, de dire qu'il n'arrive jamais que ce qui peut arriver, étant données telles forces et telles circonstances déterminées². »

Le mécanisme fut tout simplement l'extension de cette première œuvre définitive de l'esprit scientifique à tous les faits naturels : extension prématurée et, par suite, métaphysique, mais qui n'en est pas moins une période capitale et nécessaire du développement de la physique³ : « Quand nous voyons les encyclopédistes du XVIII^e siècle se croire tout proches de leur but, qui était l'explication physico-mécanique de la nature entière, et Laplace imaginer un génie qui pourrait donner l'état de l'Univers à un instant, quelconque de l'avenir, s'il connaissait, à un instant initial toutes les masses qui la composent avec leurs positions et leurs vitesses, non seulement cette surestimation enthousiaste de la portée des conceptions physiques et mécaniques acquises dans le XVIII^e siècle nous semble bien excusable, mais elle est pour nous un spectacle réconfortant, noble et élevé, et nous pouvons sympathiser du plus profond de notre cœur avec cette joie intellectuelle unique dans l'histoire. »

A ce stade, d'ailleurs, la science satisfait déjà la plupart des exigences de l'esprit scientifique. Mais sa méthode

1. *Id.*, p. 429. 430.

2. *Id.*, p. 430.

3. *Id.*, p. 433.

générale a un aspect caractéristique, qu'elle devra perdre dans la suite pour atteindre les dernières limites de la positivité. Cette méthode est une méthode *de déduction synthétique*, analogue à la méthode géométrique d'Euclide ; elle repose sur des hypothèses moléculaires et mécanistes qui jouent en physique le rôle des intuitions spatiales, des figures de la géométrie grecque. Newton l'applique dans ses *Principia philosophiæ naturalis*. Elle consiste à déduire les conséquences de quelques faits positifs fondamentaux, à partir desquels, à l'aide de constructions rationnelles, on se forme des images génériques, capables d'épargner un continuel recours à l'observation. En les composant entre elles, on en déduit des cas plus complexes et plus spéciaux, ou les extensions normales. Mais déjà, dans la mécanique, où les constructions géométriques forment pourtant un outillage suffisant, l'application de la méthode synthétique conduit souvent à des artifices et à des complications inutiles¹. Laplace remarque que la découverte des théorèmes de Newton, selon la voie d'après laquelle il les expose, n'est pas vraisemblable. Son exposition est moins sincère que celle de Galilée et de Huyghens. Les nécessités de la rigueur logique l'ont amené, par cette manière de faire, à une disposition générale qui se prête à la démonstration, qui agréée à la raison, mais qui se trouve bien loin des relations expérimentales et de l'arrangement naturel des choses.

Aussi, sans se départir des règles posées par l'évolution de l'esprit scientifique depuis la Renaissance, a-t-on pu légitimement chercher à les mieux appliquer. L'esprit scientifique qui veut tout expliquer par des raisons naturelles et intelligibles, qui veut nous donner une compréhension réelle des choses, des représentations claires et distinctes, peut se satisfaire autrement et mieux que par la méthode synthétique² et géométrique.

Descartes n'a-t-il pas pu affranchir la géométrie des limitations que lui imposaient la considération des figures, le matériel et l'outillage de la démonstration euclidienne, et

1. MACH, *Die Principien der Wärmelehre*, p. 429.

2. *Id.*, p. 456, 457.

cela sans transgresser aucune des règles de la méthode mathématique, ni aucun des principes fondamentaux posés par les géomètres ? Bien au contraire, il va jusqu'au bout dans l'application de ces règles. Il réduit la démonstration à son minimum de données, et à son maximum de généralité, de simplicité et de rigueur. Avec la notion de nombre, grâce à l'emploi des coordonnées, il peut non seulement construire l'algèbre, mais encore la géométrie. Et l'analyse infinitésimale complètera cette œuvre.

On a appelé cette méthode, méthode analytique, par opposition à la méthode géométrique et synthétique. Au lieu de poser des éléments et d'en déduire des conséquences par constructions et par figures, en les composant entre eux, on recherche les conditions d'existence d'un théorème ou des propriétés d'une figure, en remontant de leur construction à des principes abstraits, à des axiomes et des définitions, indifférents par eux-mêmes à telle construction particulière. On ne montre plus comment se recomposent avec des éléments plus simples et réels des faits complexes, mais comment des relations complexes se déduisent de relations plus générales. La pensée scientifique s'exerce non sur une matière, mais sur des relations, des formes, des enchaînements de principes à conséquences. C'est pourquoi Mach, peu satisfait du terme « analytique » employé pour désigner cette nouvelle manière de procéder dans la systématisation scientifique, car toute systématisation reste nécessairement synthétique, se sert de l'expression « formel ». Après la phase *rationnelle déductive et figurative* qui succède à l'empirisme chaotique du début, la science doit atteindre — et c'est là son terme ultime, sa perfection, la fin de son évolution méthodologique — une phase *rationnelle* aussi, *déductive* aussi (ou démonstrative), mais *formelle* cette fois et non plus figurative¹.

Le développement scientifique commencé à la Renaissance devait donc passer d'abord par une phase figurative et constructive, qui est le véritable commencement de la

1. *Id.*, p. 461.

science rationnelle, de la science qui a pris conscience d'elle-même, puis par une phase formelle qui est l'achèvement, l'aboutissant de la phase figurative.

La mécanique analytique a réalisé ce progrès dernier pour la mécanique, avec Euler et Lagrange ¹; l'énergétique n'est rien autre que le commencement de cette réalisation pour la physique, comme le mécanisme était pour cette même physique, l'analogue de la phase géométrique, constructive et figurative. L'énergétique sera donc essentiellement une physique *analytique* ou *algébrique*, une application de l'algèbre à la physique ².

On voit comment les idées de Mach se relient directement à celles de Rankine. Rankine a voulu faire pour la physique ce que Lagrange avait fait pour la mécanique. Il trouve que la mécanique offre le modèle d'une construction scientifique. Au lieu donc de faire entrer toute la physique dans la mécanique, ce qui est le but irréalisable du mécanisme, il veut que la physique traite son objet comme la mécanique traite le sien. La physique théorique ne doit pas se ramener à la mécanique, se confondre avec elle, elle doit simplement *faire comme* la mécanique. Ce n'est pas une fusion qu'on peut se proposer, mais un traitement identique.

3. — Cette méthode commune à toutes les sciences de la nature lorsqu'elles ont atteint le terme de leur évolution méthodologique se caractérise par ses prémisses : des principes généraux qui ne mettent en jeu que des quantités algébriques et d'où l'on puisse déduire mathématiquement les multiples relations entre les phénomènes ; par son but : une économie de la pensée ; par ses résultats : une synthèse générale de nos connaissances ; enfin par sa valeur : c'est une analyse des sensations.

Considérons d'abord les principes qui servent de prémisses à l'énergétisme. Que sont ces principes ? Des défi-

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 435.

2. MACH, *Die Geschichte und die Würzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, p. 46, *Principien der Wärmelehre*, p. 438 et 461.

nitions arbitraires ? En aucune façon. Les conventions fondamentales d'un langage suggéré par l'expérience ? Pas davantage. Ou, s'il y a suggestion, c'est une suggestion latente et inconsciente dont la nature et la forme sont tout à fait différentes, si différentes que l'assimilation avec ce que l'on entend par suggestion est impossible.

Il s'agit avec Mach d'une influence directe de l'expérience, à peu près comme pour l'empirisme anglais, pour Stuart-Mill en particulier ; c'est une habitude que l'esprit contracte en s'adaptant au milieu naturel dans lequel il évolue, et qu'il apprend à connaître¹. L'expérience dessine en quelque sorte, par les traces qu'elle laisse dans notre esprit, les principes généraux de la physique et les grandes lignes de la systématisation, comme un fleuve creuse son lit, par l'action lente et continue des eaux qu'il roule. Cette influence latente, mais ininterrompue, de l'expérience sur tout le développement de la science ne préside donc pas seulement aux découvertes particulières, mais encore à la systématisation et à la forme dernière et définitive que celle-ci tend à prendre. On voit tout de suite, en même temps que l'importance et la valeur des principes fondamentaux, leur degré de certitude et leur haute valeur objective. Ce n'est pas du reste sur l'esprit individuel du savant et sur le génie scientifique qu'agit ainsi l'expérience, mais sur l'intelligence de la race, et sur le génie de l'espèce. Si bien que les principes de la physique dépendent de la constitution de l'esprit humain, qu'ils ne peuvent être autres qu'ils ne sont, et que la physique théorique se trouve fondée sur un empirisme héréditaire voisin de la psychologie spencérienne², et qui se rapproche de la nécessité logique, comme la courbe de son asymptote.

Le développement primitif de la mécanique, sa préhistoire, fournit d'après Mach, « un exemple simple et suggestif du processus par lequel les sciences de la nature se

1. MACH, *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen* (Essai sur la transformation et l'adaptation de la pensée scientifique), p. 243 sq., et aussi, p. 16, 75, 219.

2. *Id.*, p. 221, 222. — *Die Principien der Wärmelehre*, p. 67 et 68, 407. — *Populär-Wiss. Vorles.*, p. 16, 219, 251.

constituent généralement. La connaissance instinctive, involontaire des phénomènes de la nature précède toujours leur connaissance consciente, scientifique, c'est-à-dire la recherche des phénomènes... L'acquisition des connaissances les plus élémentaires n'est certainement pas le fait de l'individu seul, mais elle est préparée par le développement de l'espèce¹. »

Mach en donne pour preuve le développement de la statique, en particulier, les travaux d'Archimède, de Stévin, de Galilée, de Bernouilli. Il insiste sur ce point que les démonstrations données par ces géomètres des principes fondamentaux de la statique sont illusoires. Elles les éclairent, les explicitent. Mais ces principes impliquent toujours un appel à l'observation. Ce n'est pas la démonstration, c'est l'expérience, une expérience latente qui les fonde. Toutes les démonstrations essayées contiennent d'une façon plus ou moins détournée le principe en question. Elles ne valent elles-mêmes que par ce principe, instinctivement présent dans l'esprit du savant. Quant aux origines de ces principes, de ces croyances instinctives, elles sont évidemment dans l'expérience de l'espèce. Le savant ne fait que les préciser et les formuler logiquement.

Certes, il y a dans les progrès de la science une indéniable contingence. Les principes les plus importants de la statique ont été acquis par la considération de l'équilibre des corps solides. Cette marche est celle qui a été historiquement suivie, mais elle n'est en aucune façon la seule possible et nécessaire. Les différentes méthodes qu'Archimède, Stévin, Galilée et d'autres ont employées, nous le prouvent suffisamment ; cette constatation s'impose à tout historien critique. Les complexes développements de la pensée scientifique dépendent dans une certaine mesure du hasard, de même que le développement d'une société déterminée. L'ordre évolutif a toujours des causes fortuites.

Mais il ne faut pas se méprendre sur la puissance de ces causes. Elles n'agissent pas à vide. Elles agissent sur une matière antérieurement donnée. Il en résulte qu'elles

1. MACH., *La Mécanique*, tr. fr., p. 7.

peuvent bien occasionner telle ou telle direction dans le développement considéré ; mais celui-ci n'était possible que dans un domaine bien délimité par la nature même des phénomènes. De ce que la Réforme a eu pour cause occasionnelle l'excommunication de Luther, il n'en faut pas conclure qu'un mouvement analogue, dans ses grands traits, ne se serait point produit, si Luther n'avait pas existé. C'est cependant une conclusion de ce genre que certains logiciens se permettent lorsque, remarquant dans le développement des sciences l'action incontestable de causes occasionnelles, ils avancent que ce développement est en lui-même et tout entier contingent et arbitraire. Que l'attention se soit portée fortuitement sur tel ou tel aspect des phénomènes, et notre science aurait été telle ou telle. Mach répudie absolument cette manière de voir. Les circonstances historiques de l'établissement des sciences auraient pu différer, mais ce qui a été établi — et c'est là l'essentiel — aurait fini par coïncider avec ce qui est admis actuellement : « Les principes généraux de la statique eussent pu être découverts par l'étude des liquides... Stevin approche certainement cette découverte de fort près. » Mais ces principes eussent été ce qu'ils sont. La mécanique ainsi instituée serait au fond la même que la nôtre.

C'est à des conclusions analogues que nous amène l'étude du développement de la dynamique. Les principes, établis par Galilée, Huyghens et Newton, ne sont que des anticipations latentes de l'expérience générale, accumulées dans l'inconscient, et explicitées nettement par ces savants à l'occasion de faits précis. L'appareil déductif, à partir de principes présentés comme *a priori*, ne fait que déguiser l'observation antérieure des faits. C'est toujours un fait, avoué ou non, qui fonde le principe et soutient la déduction. La prétendue démonstration des principes ou la soi-disant évidence instinctive d'un axiome enveloppe incontestablement une constatation expérimentale¹. Certes, ceci

1. *Die Principien der Wärmelehre*, 67 sq., p. 546. — *Zählen und Messen* dans le volume d'essais dédié à Zeller, *Analyse der Empfindungen*, p. 116, 233.

n'est pas nouveau, et je ne crois pas qu'actuellement, qu'on parle de suggestion de l'expérience, ou d'utilisation pratique, on s'oppose à cette interprétation.

Mais ce qui fait l'originalité de Mach, c'est la manière dont il l'établit. Au lieu d'une vague discussion générale, il prend les propositions et les raisonnements de Galilée, de Huyghens et de Newton, les analyse avec une remarquable fidélité, pas à pas, et montre qu'ils impliquent à un moment précis la constatation empirique du fait. Ils ne sont logiques, ils n'existent qu'à cette condition. Reprenons rapidement par exemple les huit définitions premières, les trois lois principales du mouvement et leurs corollaires énoncés par Newton en tête des *Principia philosophiæ naturalis*.

« DÉFINITION I. — *La quantité de matière se mesure par la densité et le volume pris ensemble.* Je désigne la quantité de matière par les mots de *corps* ou de *masse*. Cette quantité se connaît par le poids des corps : car j'ai trouvé, par des expériences très exactes sur les pendules, que le poids des corps est proportionnel à leur masse ; je rapporterai ces expériences dans la suite.

» DÉFINITION II. — *La quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse.*

» DÉFINITION III. — *La force qui réside dans la matière (vis invita) est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement en ligne droite.*

» DÉFINITION IV. — *La force imprimée (vis imprima) est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite.*

» DÉFINITION V. — *La force centripète est celle qui fait tendre les corps vers quelque point, comme vers un centre, soit qu'ils soient tirés ou poussés vers ce point, ou qu'ils y tendent d'une façon quelconque.*

» DÉFINITION VI. — *La quantité absolue de la force centripète est plus grande ou moindre, selon l'efficacité de la cause qui la propage au centre.*

» DÉFINITION VII. — *La quantité accélératrice de la force centripète est proportionnelle à la vitesse qu'elle produit dans un temps donné.*

» DÉFINITION VIII. — *La quantité motrice de la force centripète est proportionnelle au mouvement qu'elle produit dans un temps donné.*

» J'ai appelé ces différentes quantités de la force centripète, *motrices, accélératrices et absolues*, afin d'être plus court.

» On peut, pour les distinguer, les rapporter aux corps qui sont attirés vers un centre, aux *lieux* de ces corps, et au *centre* des forces.

» I^e LOI. — *Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui et ne le contraigne à changer d'état.*

» II^e LOI. — *Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée.*

» III^e LOI. — *L'action est toujours égale et opposée à la réaction ; c'est-à-dire que les actions des deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires.*

» Newton fait suivre ces lois de plusieurs corollaires. Le premier et le second se rapportent au principe du parallélogramme des forces ; le troisième à la quantité de mouvement engendrée par l'action mutuelle des corps entre eux ; le quatrième concerne la conservation du mouvement du centre de gravité, quelles que soient les actions mutuelles ; le cinquième et le sixième ont trait au mouvement relatif ¹. »

La définition I n'a que l'apparence d'une définition. Le concept de masse ne peut être déduit que des relations dynamiques des corps, c'est-à-dire de faits donnés dans l'expérience. Les autres définitions sont des règles de calcul ou

1. MACH, *La Mécanique*, p. 235, 236, 238.

des expressions de la notion de la force, qui est une notion expérimentale : le changement dans l'état de mouvement, ou accélération. Les lois I et II sont contenues également dans cette notion expérimentale de la force. Elles sont l'expression du principe de l'inertie ; et pour poser ce principe, il suffit de dire que les définitions données ne sont pas les définitions arbitraires et mathématiques, mais répondent à des propriétés expérimentales des corps. La loi III (action et réaction) est elle-même une conséquence d'une notion claire de la masse, dont l'acquisition n'est possible que par des expériences dynamiques. Le corollaire I énonce le principe de l'indépendance des mouvements, qui n'est et ne peut être qu'un fait d'expérience, etc. Ainsi définitions, lois et axiomes premiers de la mécanique newtonienne sont fondés sur des faits expérimentaux qui se ramènent en réalité à la découverte d'un seul grand fait : « Différents couples de corps déterminent sur eux-mêmes, et indépendamment l'un de l'autre, des couples d'accélération tels que les deux accélérations d'un même couple sont dans un rapport invariable qui caractérise ce couple. » Ce fait implique simplement qu'il y a des accélérations et qu'il y a des masses. Et l'histoire de la dynamique n'est autre chose que la découverte, morceau par morceau, de ce grand fait, grâce à Galilée, Huyghens et Newton. Lois de la chute des corps, loi particulière de l'inertie, lois des pendules, concept de travail, principe du parallélogramme des forces, concept de masse, etc. : voilà les étapes de la découverte. Cette histoire montre à l'évidence que, si les circonstances accidentelles ont donné au processus évolutif de la science des directions particulières, celle-ci n'est point pour cela tout entière conventionnelle et arbitraire. Il y a une partie qui dérive de la convention : ce sont les définitions choisies, conséquemment le genre des unités fondamentales, l'ordre ou l'enchaînement des principes. Mais le sens de ces principes, le contenu de la science ne le sont point, parce qu'ils ne sont, en définitive, que le développement de faits, indépendants de nos vues personnelles, parce qu'ils dérivent de l'expérience. Les résultats de la recherche

et le contenu réel de la science évoluent donc, mais d'une façon à peu près unilinéaire ¹.

Les principes sur lesquels se fonde l'exposé formel de toute théorie physique ne sont-ils pas, en effet, les lois, beaucoup plus réalistes, qui présidaient à sa construction déductive ? Seulement, ce sont ces lois amenées à leur maximum de clarté, d'intelligibilité et de commodité. A leur tour, les lois de la construction déductive, les lois et les définitions de la mécanique newtonienne, par exemple, puisque Mach arrête à celle-ci le terme du développement déductif de la mécanique, ne sont que le résultat de la lente accumulation des observations et des expériences, dans la phase empirique et originelle de la science. Toute extension dans la période formelle, toute généralisation dans la période déductive, toute découverte dans la période empirique résultent donc de l'influence latente et confuse de l'expérience, des conséquences, des relations et de l'ordre réel des phénomènes dans la nature. Elles sont les traductions des propriétés et des lois de l'objet, qui passent peu à peu dans la systématisation scientifique. De la découverte empirique à la systématisation formelle, il y a éclaircissement et maniabilité progressive, mais il y a, établi par les principes mêmes qui dirigent l'évolution scientifique, un seul et unique processus qui découvre et assimile peu à peu les lois du réel.

L'énergétisme a donc l'ambition de représenter, en fin de compte, dans ses abstractions les plus éloignées, à première vue, du monde de la perception sensible, l'objectivité phénoménale de l'expérience. Les principes fondamentaux sont les relations les plus générales qu'un incessant contact avec l'objet a fini par imprimer sur notre esprit.

1. Ceci explique et aide à résoudre les nombreux problèmes de priorité que rencontre sur sa route l'historien de la physique. Et le fait même que ces problèmes se posent est, pour Mach, une confirmation de ses vues sur les principes de la physique théorique. Il a longuement montré que de multiples manifestations d'une même idée, à un même moment, sont fréquentes ; elles sont dues au développement nécessaire des idées générales de la physique sous la pression des faits, aux nécessités de l'expérience objective.

4. — Mais si les principes sont le résultat d'une évolution qui part de l'expérience, entre le point de départ et le point d'arrivée il n'est pas moins vrai qu'il y a eu une *évolution*. Les principes ne ressemblent plus aux lois empiriques. Dans la construction déductive de la science, qui, pour la physique, a été la période des hypothèses moléculaires et du mécanisme atomique, on a pu, sans doute, se contenter de voir dans les principes la simple extension, guidée par l'expérience, la généralisation normale des lois empiriques. C'est pourquoi la physique, dans cette période, s'est crue la copie inaltérée de la réalité. Le réalisme naïf de la physique corpusculaire n'a pas d'autre raison. Mais l'histoire critique de la période formelle nous amène à d'autres conclusions. Elle va nous montrer que le travail effectué par la généralisation des lois empiriques n'était pas simplement un travail de généralisation et d'extension, la simple continuation de l'œuvre expérimentale. Un autre travail plus profond remaniait à notre insu les principes et la construction scientifiques. Les hypothèses n'étaient pas la traduction fidèle des constatations expérimentales. Mais elles les interprétaient dans un certain sens, sous l'influence d'idées directrices, bien étrangères à la seule préoccupation de réfléchir fidèlement la nature. Ce sont ces idées directrices que la période formelle du développement scientifique met nettement, et surtout, en lumière, car elles supplantent alors toute autre influence sur le progrès de la connaissance. Elles nous font comprendre le véritable sens de l'évolution des propositions scientifiques, et comment celles-ci, tout en restant étroitement rattachées à leur base expérimentale, en deviennent plutôt une interprétation qu'une simple réflexion. Il ne faut pas croire, pour cela, que la science change ici d'allure et de méthode, car ces idées directrices étaient déjà implicitement contenues dans les recherches expérimentales antérieures. La continuité du processus scientifique n'est donc rompue en aucun endroit, pas plus que les liens qui, en le rattachant à l'expérience, assurent son objectivité. Seulement la fonction de la connaissance réagit naturellement sur l'expérience dont elle a

subi l'influence. Si la connaissance est une empreinte de l'objet sur l'esprit, elle est en même temps un travail de l'esprit sur l'objet ou plutôt sur la connaissance immédiate qu'il en a. La connaissance est l'acte commun du connaissant et du connu. En ce sens, la théorie et l'histoire de la science sont une véritable psychologie et Mach observe fréquemment dans ses nombreux travaux de critique et d'histoire qu'il ne fait en somme que des observations psychologiques ¹.

5. — Le travail de l'esprit sur les résultats de l'expérience n'est pas d'ailleurs une altération de l'expérience. Bien loin de là ! Il n'est qu'un moyen de la mieux comprendre ou de la mieux traduire. Il reste, selon la forte expression de Mach, une *adaptation* ².

Cette adaptation a un principe directeur qui, dans l'énergétique contemporaine, dans les théories actuelles de la science, et notamment dans l'œuvre de Mach, joue un très grand rôle : le principe de « l'économie de la pensée ³ ».

Toute science, mais en particulier les sciences physico-chimiques, visent à exprimer le plus grand nombre de faits sous le plus petit volume de formules. Si le savant condense d'abord l'expérience dans un grand nombre de lois empiriques, puis si, dans la phase déductive et mécaniste, il ramène celles-ci à un très petit nombre d'entre elles ; enfin si, dans la phase formelle, il formule un schème suffisant à tout le développement d'une science, c'est pour arriver au système le plus clair, par suite le plus facilement compréhensible, le plus aisément transmissible, le plus commodément applicable. L'expérience ne subit pas d'autre modification, pas d'autre altération de la part de l'activité du savant que les modifications qui peuvent économiser l'effort de la pensée. C'est, transporté du domaine de la mécanique dans celui de la psychologie et de la

1. MACH, *La Mécanique*, p. 463. — *Principien der Wärmelehre* (préface de la 1^{re} édition).

2. MACH, *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, p. 221, 222 et 243 sq.

3. MACH, *Die Principien der Wärmelehre*, p. 437 sq. — *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, p. 267 sq.

logique et par suite dans la théorie de la science, le principe de la moindre action et du travail maximum.

« Il s'agit de disposer dans un ordre synoptique les faits qui se présentent et qu'il faut reconstruire par la pensée, d'en former un *système* de telle façon que chacun d'eux puisse être retrouvé et rétabli avec la *moindre dépense intellectuelle*. On cherche à apporter toute l'uniformité possible dans cette méthode de reconstitution, afin de pouvoir se l'assimiler aisément.

« Il faut d'ailleurs remarquer que les périodes d'observation, de déduction et de développement formel ne sont pas nettement séparées ; souvent, au contraire, ces différents processus marchent côte à côte, quoique dans l'ensemble on ne puisse méconnaître leur succession. Toute science se propose de remplacer et d'épargner les expériences à l'aide de la copie et de la figuration des faits dans la pensée. Cette copie est, en effet, plus maniable que l'expérience elle-même, et peut, sous bien des rapports, lui être substituée ». La démonstration générale, la communication de la science par l'enseignement, l'existence d'une écriture universelle (l'algorithme mathématique) en sont des preuves. De même l'abstraction indispensable à la science et l'emploi du calcul.

« Toute science a pour but de remplacer l'expérience par les opérations intellectuelles les plus courtes possibles ¹ ».

On voit de suite qu'à entendre ainsi le travail psychologique qui modifie les données objectives de l'expérience, il est impossible de dire que celles-ci soient altérées et perdent de leur objectivité. L'activité du savant n'intervient que pour donner une forme commode à un système dont non seulement tous les éléments, mais encore les articulations émanent directement de l'objet d'une façon manifeste ou cachée². Seul, dépend du savant le mode de projection qu'il choisit pour le représenter. Et encore il doit respecter une certaine perspective, en ce sens que l'angle

1. MACH, *La Mécanique*, tr. fr., p. 397.

2. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 436.

sous lequel il voit l'objet ne dépend pas de lui, mais des résidus latents que l'expérience a déposés en lui¹.

La systématisation n'est même pas maîtresse de ses principes puisqu'ils résultent d'une éducation, plus que d'une éducation, d'une formation séculaire et collective de l'esprit scientifique, dans l'espèce, sous l'influence de l'expérience générale.

« Toute science a donc, selon nous, la mission de *remplacer l'expérience*. Elle doit, par conséquent, dans ce but, d'une part *rester toujours* dans le domaine de l'expérience et d'autre part en sortir, mais en *attendant toujours de celle-ci une confirmation ou une infirmation*. Là où il est impossible de confirmer ou d'infirmer, la science n'a rien à faire² ».

Mach est fréquemment revenu dans toutes les discussions qu'il a eues au sujet du principe de l'économie de la pensée adopté plus ou moins explicitement par Kirchhoff, Hertz, Grassman, sur ce fait que ce principe n'introduit aucun arbitraire mais est subordonné avant tout aux données de l'expérience³.

6. — L'ouvrage de Mach sur la mécanique ne sort-il pas tout entier de cette idée maîtresse ? L'histoire est néces-

1. *Die Analyse der Empfindungen*, p. 19.

2. *Id.* *La Mécanique*, p. 457 ; *Analyse der Empfindungen*, p. 64 sq. ; *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, p. 203 sq., p. 246 sq. ; *Principien der Wärmelehre*, p. 394 et préface ; GRASSMANN, *Ausdehnungslehre* (1844), p. 19.

3. Ce principe a soulevé une vive polémique dans la critique épistémologique, notamment avec Petzoldt (*Vierteljahrsschr. für wissenschaftlichen Philosophie*, 1891), et Husserl (*Logische Untersuchungen*, 1900). Mach dit en défendant ses vues que *des mêmes principes* le système d'une science peut être déduit de différentes manières ; mais l'un de ces développements correspond au principe d'économie mieux qu'un autre, et c'est celui-là qui est choisi. On pourrait peut-être conclure de là à un choix déterminé par des raisons non objectives, et à une multiplicité possible de physiques théoriques. Mais il suffit de remarquer que Mach pose comme point de départ absolu de toute systématisation scientifique *les mêmes principes*. L'arbitraire ne sera donc que dans le mode d'exposition d'une physique théorique en elle-même *une et nécessaire*. Il n'y a rien là qui puisse prêter à une interprétation subjectiviste ou sceptique.

saire à la compréhension de la science, et l'histoire reproduit tous les efforts, heureux ou malheureux, pour atteindre un système unique dans une marche progressive, où, les erreurs elles-mêmes, en vertu d'une nécessité quasi-logique, ont leur fécondité ?

« Certes, l'histoire de la science montre que les conceptions scientifiques subjectives de l'Univers, que se forment les individus, sont toujours corrigées et étendues par d'autres. Dans la conception de l'Univers que l'humanité se construit, on ne peut, pour longtemps encore, reconnaître que les traits les plus caractéristiques des conceptions des hommes les plus illustres¹ »... Mais :

« Lorsque nous voyons la société actuelle changer fréquemment d'avis sur une même question et modifier son point de vue suivant les dispositions et les situations du moment, ce qui ne peut se passer sans un trouble moral profond, nous devons considérer cet état de choses comme une conséquence naturelle et nécessaire de ce que notre philosophie a d'inachevé et de transitoire. Une conception suffisante du monde ne peut pas *nous être donnée*, nous devons l'acquérir, et ce n'est qu'en laissant le champ libre à l'intelligence et à l'expérience, là où elles doivent décider seules, que nous pouvons espérer nous rapprocher, pour le bien de l'humanité, de l'idéal d'une conception *unitaire* du monde qui, seule, est compatible avec l'ordonnance d'un esprit sainement constitué² ».

7. — La synthèse unitaire des connaissances physiques à laquelle vise la science dans son développement formel n'a pas, du reste, une simple valeur d'épargne et de coordination harmonique. Elle n'est pas un couronnement esthétique de l'œuvre scientifique. Mach qui fait jouer un rôle si grand à l'expérience et aux données objectives à chaque étape de la construction scientifique n'a garde de se départir ici de cette idée directrice centrale. Le mot « formel » n'a pas le sens purement formaliste et scolastique qu'on pourrait être tenté de lui donner : il n'exprime pas du tout un enchai-

1. MACH, *La Mécanique*, p. 491, 492.

2. MACH, *La Mécanique*, p. 434.

nement de propositions arbitraires et vides de tout contenu expérimental. Aussi, sortie de l'expérience, imposée par elle, vérifiée ou plutôt remplie tout entière par ses résultats, la systématisation est apte à rendre de nouveaux services à la recherche expérimentale.

8. — La valeur objective de la physique, qu'affirment fortement et avec preuves à l'appui tous les partisans de la conception énergétique, a sa raison dernière dans la conception même qu'ils se font de l'objet de la physique. Elle peut se résumer en deux propositions :

Le réel est un ensemble de sensations et n'est que cela ;

Toutes les sciences, et en particulier les sciences physico-chimiques, sont l'analyse des sensations¹.

La première proposition se passe de commentaires. D'ailleurs, si on la commentait, ce commentaire appartiendrait à la philosophie pure et non à l'histoire de la science. Sur le terrain scientifique et positif, il est certain que la connaissance part de la sensation, et que la sensation est le *primum datum* sur lequel elle travaille et auquel elle doit toujours revenir. La sensation ou les complexes de sensations, voilà le phénomène brut, l'objet².

La science a pour but de nous donner une copie de cet

1. *Analyse der Empfindungen*, p. 1-8.

2. « Lorsque nous faisons dans la pensée la copie d'un phénomène, jamais celle-ci n'est faite d'après le fait *global*, mais bien d'après celui de ses côtés qui nous a semblé *important*. Dans cette opération, nous avons un but qui est le produit indirect ou immédiat d'un intérêt pratique. Nos copies sont toujours des abstractions et, ici encore l'on peut constater cette même tendance à l'économie.

» La nature est composée des éléments donnés par les sens. L'homme primitif saisit d'abord certains complexes de ces éléments, ceux qui se manifestent avec une stabilité relative et qui ont pour lui de l'importance. Les mots les plus anciens sont des noms pour des *choses*, et, dans cette pure désignation, se reconnaît déjà une abstraction de tout l'entourage de la chose et des petites variations continues subies par ce complexe, qui, moins importantes, ne sont pas observées. Il n'y a dans la nature aucune chose invariable. Une chose est une abstraction. Un nom est un symbole pour un *complexe* d'éléments dont on ne considère pas la variation. Nous désignons le complexe entier par *un mot*, par un symbole *unique*, lorsque nous avons besoin de rappeler en une fois toutes les impressions qui le composent. Plus tard, parvenus à un degré supérieur,

objet. Et il serait difficile d'être plus profondément réaliste ici que les énergétistes. Mais cette copie n'aurait aucune valeur et aucune utilité si elle était un décalque photographique de la sensation brute. Bien plus, elle serait impossible parce que la sensation brute est impensable, et qu'il s'agit d'avoir cette copie dans la pensée. Psychologiquement, les sensations sont déjà, autant que nous les pouvons observer, formées par la superposition et l'assimilation d'une multiplicité de données primitives. Si bien qu'en somme, une sensation devenue une représentation est déjà en réalité, une relation entre plusieurs sensations, une perception de ce qu'elles ont de commun entre elles. C'est une image générique.

Décomposer cette image générique, briser l'unité de la représentation primitive, voilà la démarche scientifique essentielle. En ce sens, elle est toujours une abstraction, mais elle n'est pas une abstraction arbitraire ; elle est une abstraction guidée par la manière dont se présente l'expérience. Tout acte de connaissance, même celui qui nous semble le plus rudimentaire, la représentation primitive et spontanée, est déjà une abstraction. La perception ne conserve des assemblages complexes de sensations dont elle est la résultante, que ce qui a, par son intérêt ou sa réapparition constante, fixé notre attention. Elle les a dissociées des autres qui sont tombées plus ou moins dans l'inconscient. Cette démarche abstractive, commencée par la perception, la pensée scientifique la continue. Partant de la perception primitive, elle dissocie à son tour le faisceau complexe présenté par la perception. Mais dans cette dis-

nous portons notre attention sur ces variations, et il devient naturellement impossible de conserver en même temps le concept d'invariabilité, pour peu que nous ne voulions pas en arriver à des notions vides et contradictoires, telles que celle de la « chose en soi ». Les sensations ne sont pas des « symboles des choses ». La chose est, au contraire, un symbole mental pour un complexe de sensations d'une stabilité relative. Ce ne sont pas les choses (les objets, les corps), mais bien les couleurs, les sons, les pressions, les espaces, les durées (ce que nous appelons d'habitude des sensations), qui sont les véritables *éléments du monde*. » (MACH, *La Mécanique*, p. 450, 451).

sociation nouvelle, bien que la pensée poursuive toujours un but utilitaire, puisqu'elle cherche à s'adapter, et à nous adapter à l'objet, elle se rapproche, au contraire, progressivement — sans jamais peut-être les atteindre — des données véritables et pures, des données primitives de l'expérience : des sensations.

Ces sensations, son, couleur, odeur, résistance, pression, mouvement, température, durée, étendue, ne sont pas d'ailleurs le terme de la recherche scientifique. Elles n'ont par elles-mêmes rien d'absolu et d'immuable : l'idée de quelque chose d'absolu, d'immuable, l'idée de substance est une idole métaphysique, la plus dangereuse de toutes. La pensée scientifique, la pensée en quête de ce que nous appelons vérité, doit la proscrire. L'analyse des sensations de Mach n'est donc pas la décomposition de la représentation complexe et confuse de la perception primitive, en sensations élémentaires, la recherche de données simples dont les phénomènes perçus seraient la résultante. La méfiance que Mach a du mécanisme, la lutte qu'il a engagée avec lui, ont vraisemblablement pour origine ce fait que le mécanisme s'est prêté trop volontiers, antérieurement à notre époque, à retrouver des éléments substantiels simples qui, par leur composition, reproduisent les phénomènes physico-chimiques. N'est-ce pas, en effet, le caractère définitif de la période déductive et figurative qui commence avec Newton, dans les sciences de la nature ?

Mach reste profondément sous l'influence de la psychophysique¹. Il conçoit la sensation, comme elle : la sensation est quelque chose de relatif. Une sensation n'est ce

1. On sait que la loi psychophysique (loi de Fechner) établit que pour qu'une sensation semble prendre une intensité plus grande, il faut que l'excitation soit d'autant plus forte que la sensation considérée est elle-même plus forte. L'augmentation d'intensité d'une sensation, ou plus exactement l'apparition d'une sensation plus intense est donc *relative* à l'intensité de la sensation précédente. Ajoutez 2 grammes à 2 grammes, vous sentez l'augmentation de poids. Ajoutez 2 grammes à 1 kilogramme, vous ne sentez plus rien du tout. Il faut ajouter à peu près 300 grammes, d'après l'expérience, pour que l'on s'aperçoive que le poids primitif de 1 kilogramme a augmenté.

qu'elle est que par rapport aux sensations concomitantes, antécédentes et conséquentes. Le texte n'a de sens que par le contexte.

Mach est d'ailleurs très psychologue. Sa conception de la physique n'est pas sans relation avec un effort pour transposer une conception psychophysique, analogue à celle de Herbart, dans un autre domaine. Tous les travaux modernes de psychologie tendent effectivement, d'ailleurs, à nous montrer que la sensation est dépendante d'influences très complexes, en particulier, de toutes les sensations environnantes, données par les autres sens : une sensation lumineuse n'est-elle pas accrue par une sensation sonore, et d'une façon sensible, même sans dispositif expérimental ? Une sensation dépend donc de relations complexes. Elle est ce qu'elle est, en vertu de ces relations ; et elle n'est ce qu'elle est que par ces relations.

L'idéal de la science est déterminé par là sans équivoque. Elle doit chercher les relations dont dépendent nos sensations, on peut même dire : qui constituent les apparences sensibles. C'est en ce sens que la science est une analyse de nos sensations.

Veut-on préciser encore et délimiter dans cette analyse la part propre de la physique ? Il suffira de remarquer que les relations dont dépendent nos sensations sont de deux sortes. Les unes restent ce qu'elles sont, quels que soient ma position, dans l'espace, mon état physiologique, les témoins considérés ; ce sont des relations indépendantes de moi, dans lesquelles je ne joue aucun rôle, si ce n'est celui d'enregistreur : ces relations sont dites extérieures et sont l'objet des sciences de la nature. Les autres, au contraire, sont influencées par moi, dépendent de mon état propre, ne sont pas données à mes voisins comme à moi. Ces relations qui, remarquons-le, portent sur les mêmes sensations que les relations dont nous parlions tout à l'heure, devront être analysées par les sciences psychologiques.

Voici un morceau de soufre ; il est éclairé ou dans l'ombre ; il cristallise de telle façon, il s'électrise de telle autre ; il donne telle ou telle sensation de résistance, de

forme, de consistance, de température, selon qu'une colonne de mercure est plus ou moins haute dans un tube capillaire. Toutes ces relations qui déterminent les sensations que j'ai du soufre me seront données, quels que soient mon état, le lieu où je me trouve ; elles seront données à tous ceux qui manieront du soufre. Je m'entendrai avec eux sur tous les résultats de l'analyse de cette première catégorie de sensations : les résultats sont objectifs : c'est de la physique.

Mais si j'absorbe de l'alcool ou de la morphine, si mon œil a telle ou telle maladie, telle ou telle hallucination, si les sensations antécédentes ou concomitantes que j'ai ressenties ont modifié les sensations de couleur, d'odeur, de température, de forme, de poids, de résistance que me donnait ce morceau de soufre, si mes voisins déclarent qu'ils n'ont pas les mêmes sensations que moi, je dirai que mes sensations sont modifiées par des relations subjectives. L'analyse de ces relations, conduite de telle façon que les résultats en soient concordants pour tous les sujets examinés, constituera la science psychologique.

L'analyse des sensations ainsi entendue n'a pour ainsi dire jamais de terme, aussi bien dans son sens physique, que dans son sens psychologique : c'est pourquoi toute notion substantielle et métaphysique est vide de sens. Nous ne serons jamais sûrs de ne pas découvrir des relations nouvelles dans l'analyse des sensations. Nous arrivons à des parties provisoirement indissociables. Ces éléments forment des complexes réguliers, sous des conditions données, en se combinant selon certains rapports constants et uniformes. Nous avons des lois physiques, mais ces lois ne peuvent jamais être considérées comme une explication complète, définitive. Elles ne sont que des conditions *nécessaires*, non suffisantes. En ce sens, la science ne peut jamais être dite parfaite, achevée. Seulement, et c'est là que se précise bien la position de Mach et des énergétistes, tout ce qui est établi par le contrôle de l'expérience — et sous la réserve des erreurs humaines — n'en subsiste pas moins comme *nécessaire*. Nous tenons un certain nombre

de relations réelles et exactes, si nous ne les tenons jamais toutes.

L'idée d'évolution, qui a profondément imprégné l'esprit de Mach, s'est ajoutée à l'idée psychophysique, pour donner un sens plus vivant et plus plein à cette dernière conclusion. L'évolution de la science ne peut pas être considérée comme nous amenant progressivement vers un but bien déterminé. Le but, si l'on veut, paraît toujours s'éloigner, à mesure qu'on croit le saisir. Mais en le poursuivant, on n'en fait pas moins du chemin, et ce chemin fait n'est plus à faire. Il y a un véritable progrès scientifique, et ce progrès consiste en une capitalisation croissante des découvertes. Chaque jour, l'analyse des sensations s'approfondit, si l'on ne peut pas dire qu'elle se complète. Chaque jour aussi, notre maîtrise s'accuse sur la nature ; notre science réussit mieux dans ses prévisions et dans les utilisations pratiques que suggèrent ces prévisions. Elle s'adapte, et en s'adaptant nous adapte, car la science est un processus biopsychologique (Mach affectionne cette expression). L'histoire des sciences n'est plus une anecdote ; elle est une évolution : chaque pas fait dans l'analyse prépare le pas suivant, et est fonction du pas précédent. La construction de la science porte l'empreinte de son objectivité, jusque dans la manière dont elle s'opère. Nous retrouvons ici toutes nos conclusions antérieures.

A mesure que nous avançons dans le travail scientifique, il surgit des contradictions, des difficultés. Les relations nouvellement découvertes paraissent incompatibles avec celles qui les avaient précédées. Avons-nous alors ruiné la science ? La vérité d'aujourd'hui n'est donc plus la vérité d'hier ? Objection puérile : c'est, au contraire, un progrès nouveau qui s'annonce et qui continue les précédents, une adaptation plus étroite au réel. De deux choses l'une, en effet : ou bien nous avons commis une erreur d'expérience ; et alors nous la rectifions. Notre science se débarrasse d'un résultat mauvais ou douteux. Elle substitue à une relation moins conforme, une relation qui l'est davantage : ce cas n'arrive d'ordinaire que pour les détails, ou s'il porte

sur une relation générale, c'est que cette relation était hypothétique. Ou bien la relation nouvelle, tout en laissant debout les anciennes, est incompatible avec elle. C'est là le cas le plus ordinaire, c'est aussi le plus intéressant, car tenant les deux bouts de la chaîne, tous deux du même métal, il s'agit de retrouver les chaînons intermédiaires. Il faut alors poursuivre l'analyse et découvrir de nouvelles relations ; on doit tout au moins les conjecturer et chercher la vérification expérimentale de cette conjecture. On prépare à la science de nouveaux triomphes pour continuer les anciens. L'expérience va en s'élargissant, car elle est toujours trop étroite, mais elle ne se dément pas.

L'analyse des sensations, l'abstraction et la généralisation qu'elles postulent, le principe d'épargne de la pensée par lequel elle se laisse diriger, n'est pas une idéologie imaginative que nous substituons au réel, c'est la pénétration progressive du réel, tel qu'il se manifeste à nos sens. L'énergie est pour l'énergétique une relation sensible et réelle par excellence : « Vous recevez un coup de bâton, dit Ostwald ; que ressentez-vous, le bâton ou l'énergie ? »

Duhem, en parlant d'Ostwald, semble croire que sa théorie est le dernier terme de l'abstraction des théories physiques :

« On pourrait pousser l'assimilation encore plus loin et certains l'ont osé. Puisque le fluide de W. Thomson n'a d'autre propriété que de supporter dans l'espace des vitesses variables, selon certaines formules, pourquoi n'irait-on pas jusqu'à le supprimer, jusqu'à lui dénier toute existence substantielle, jusqu'à le réduire à la pure étendue ? La masse de l'atome-tourbillon, à supposer qu'on en ait trouvé une définition acceptable, ne serait pas la traduction, en langage mathématique, de la persistance d'une substance matérielle, mais la conséquence d'une certaine distribution permanente de vitesses de rotations ; pour cet atome, il n'est plus vrai de dire que « la loi physique de la conservation de la masse ait dégénéré en un axiome métaphysique, conservation de la matière ». Dès lors, pourquoi attribuerions-nous plus de réalité à la matière même du fluide au sein duquel se forment les tourbillons ? Pour-

quoi ne l'identifierions-nous pas à l'espace, réceptacle de certaines vitesses et de certaines forces vives ? Pourquoi ne réduirions-nous pas la mécanique à l'étude « de l'étendue et de ses changements tous nuds », changements qui laissent invariables dans le monde la quantité totale d'énergie ? Ainsi serions-nous amenés à la doctrine nouvelle qui a vogue sous le titre de *Théorie de la migration de l'énergie*.

« Au moment de quitter la terre ferme de la mécanique traditionnelle pour nous élancer, sur les ailes d'un rêve, à la poursuite de cette physique qui localise les phénomènes dans une étendue vide de matière, nous nous sentons pris de vertige ; alors, de toutes nos forces, nous nous cramponnons au sol ferme du sens commun ; car *nos connaissances scientifiques les plus sublimes n'ont pas, en dernière analyse, d'autre fondement que les données du sens commun* ; si l'on révoque en doute les certitudes du sens commun, l'édifice entier des vérités scientifiques chancelle sur ses fondations et s'écroule.

« Nous persisterons donc à admettre que tout mouvement suppose un mobile, que toute force vive est la force vive d'une matière. « Vous recevez un coup de bâton, nous dit M. Ostwald ; que ressentez-vous, le bâton ou l'énergie ? » Nous avouerons ressentir l'énergie du bâton, mais nous continuerons à en conclure qu'il existe un bâton porteur de cette énergie, qui réside en certains lieux de l'espace, qui se transporte d'une région à une autre, ressemble singulièrement à une matière qui aurait renié son nom, mais n'aurait pu changer d'essence. Nous demeurerons donc en deçà des doctrines pour lesquelles l'existence substantielle de matières diverses et massives devient une illusion et nous arrêterons nos discussions aux bornes que Hertz lui-même n'avait pas franchies ¹. »,

A ce que je crois, c'est fort mal représenter les intentions

1. P. DUHEM, *L'Evolution de la mécanique* (*Revue générale des Sciences*, 15 mars 1903, p. 253). Cette critique est bien curieuse sous la plume de Duhem. On verra, en effet, au chapitre suivant, qu'il s'efforce de construire une physique théorique *purement mathématique*, donc *sans matière*, et qu'il fait reposer cette physique sur les principes relatifs à l'énergie.

d'Ostwald. Ces intentions sont réalistes et objectivistes. Il ne veut pas vider le monde de son contenu réel. Il veut empêcher qu'on masque ce contenu réel par des additions imaginaires ou qu'on l'élimine, au contraire, par des substitutions arbitraires. Il veut le garder tel qu'il est. L'énergie est la propriété générale des sensations qui constituent l'univers physique ; elle est le fondement, le seul possible, des sciences physico-chimiques. La réalité inspirera donc à ces sciences, comme forme universelle, la seule copie que la pensée puisse se faire de la réalité sensible.

9. — Quand Mach ou Ostwald parlent d'abstraction, ils ne parlent donc pas nécessairement d'une idée imaginaire, sans contact avec la réalité. Cela serait vrai de l'abstraction mécaniste ou métaphysique. Mais l'abstraction vraiment scientifique est simplement la perception d'éléments communs dans ce qui est dissemblable. Ces éléments communs sont des relations par lesquelles souvent même s'expliquent les dissemblances, par conséquent, des relations plus profondes, plus réelles, si l'on peut dire. Ce que nous saisissons ainsi comme relation abstraite a certainement son existence dans les termes des comparaisons dont nous avons extrait cette relation, une « base réelle dans l'excitation sensorielle ».

Nous trouvons une confirmation de cette réalité expérimentale de la relation abstraite (donc de la loi physique) dans la théorie de Mach sur l'idée de cause¹.

L'idée de cause est le grand ressort de la physique. Si nous dépassons la sensation brute dans notre copie mentale, c'est parce que nous remontons des effets aux causes, du donné aux éléments nécessaires qui le conditionnent. Trouver les éléments généraux et abstraits à l'aide desquels nous construisons notre copie, c'est découvrir les relations qu'entretiennent entre elles des sensations multiples, et par ces relations retracer leur ordre et leur système. Ces rela-

1. MACH : *Die Principien der Wärmelehre*, p. 452 sq. et p. 424 sq. — *Id. Analyse der Empfindungen*, p. 25, p. 66 sq. — *Id. Die Geschichte und die Würzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, p. 35.

tions sont ce qu'on appelle, dans le langage vulgaire, les relations causales : si bien que tant vaudra la relation causale, et tant vaudra l'enchaînement de la physique, l'objectivité de l'analyse des sensations qui constituent l'univers matériel. Or, que voyons-nous dans les écrits de Mach, au sujet de la relation causale ?

« Lorsque nous parlons de causes et d'effets, lisons-nous d'abord, nous faisons arbitrairement ressortir, dans la copie mentale d'un fait, les circonstances dont nous devons *estimer* l'enchaînement dans la direction qui est importante pour nous. Dans la nature, il n'y a ni causes, ni effets. La nature n'est présente *qu'une fois*. Les répétitions de cas semblables où A est toujours lié à B, c'est-à-dire les conséquences identiques de circonstances identiques dans lesquelles consiste précisément l'essentiel de la relation de cause à effet, n'existent que dans l'abstraction que nous employons, afin de copier les faits dans la pensée¹ ».

Et nous lisons immédiatement après : « Une chose nous est-elle devenue familière, nous n'éprouvons plus le besoin de cette mise en évidence de l'enchaînement des caractéristiques, nous ne dirigeons plus notre attention sur ce qui va arriver de neuf, nous ne parlons plus de causes, ni d'effets. »

La relation causale serait donc une forme arbitraire et subjective de la pensée, forme précaire qui s'élimine d'elle-même dès que les choses nous deviennent familières ? La relation causale, pour reprendre une expression de Mach à propos du mécanisme, ne serait qu'une béquille dont nous nous aiderions pour découvrir le réel, tant que nous ne saurions pas marcher tout seuls ? Mach le proclame, en effet. Mais pourquoi, à un moment donné, pouvons-nous rejeter la béquille, et quand et comment arrivons-nous à marcher tout seuls ? Toute la question est là, et l'équivoque est vite dissipée dès qu'on cherche la réponse de Mach, et dissipée tout au profit de l'objectivité de la physique.

Nous ne parlons plus de causes et d'effets, nous n'avons plus le besoin de cette mise en évidence de l'enchaînement des caractéristiques, parce que la science poussée plus loin,

1. MACH, *la Mécanique*, p. 451.

nous montre, dans la cause et l'effet, des relations qui sont *fonction* l'une de l'autre¹, qui s'impliquent et s'unissent indissolublement dans une même expression, des relations qui sont elles-mêmes en relation entre elles. L'expérience superpose une relation plus haute à des relations inférieures. En d'autres termes, les séparations et les classifications artificielles que nous avons pu tracer dans le domaine de la nature se réduisent progressivement au *profit de l'unité de la nature*. Cette réduction n'est plus dans l'énergétique un besoin de la pensée, mais elle est fondée sur la nature du réel ; elle est objective, et par là il n'est pas interdit de penser — et Mach lui-même ne s'y refuse pas. car il dit que rien n'empêche de considérer le principe d'épargne comme un moyen provisoire fondé sur quelque assise plus profonde² — que le principe d'épargne lui-même a en dernière analyse un fondement objectif dans la nature du réel :

« Nous dirons d'abord que la chaleur est la cause et la force expansive de la vapeur ; cette relation nous est-elle devenue familière, nous nous représentons en une fois la vapeur avec sa température et sa tension correspondantes. De même, nous nous représenterons d'abord l'acide comme la cause qui fait rougir la teinture de tournesol ; plus tard, ce changement de couleur sera énuméré par les propriétés de l'acide...

« L'explication naturelle et toute simple paraît être la suivante : les concepts, cause et effet, naissent premièrement de l'effort pour copier les faits. Tout d'abord, il se produit seulement une habitude de lier A et B, C et D, E et F, etc. Si dans la suite, alors que nous possédons déjà de nombreuses expériences, nous observons une liaison de M avec N, il arrivera souvent que nous reconnaitrons M comme *composé* de B, D, F, dont les liaisons nous sont déjà *familières* et semblent revêtues d'une autorité plus haute³ ». Si donc la relation causale est une abstraction, un moyen

1. *Die Principien der Wärmelehre*, p. 437.

2. *La Mécanique*, p. 463 (tr. fr.).

3. *Id.*, p. 451, 452.

provisoire dont le rôle est d'économiser le travail, ce n'est pas que la physique ne soit jamais elle-même qu'un moyen provisoire, une théorie arbitraire et passagère. C'est, au contraire, que la physique dépasse le point de vue de la séquence causale pour retrouver derrière elle la réalité phénoménale dont cause et effet sont deux aspects transitoires et momentanés. Le point de vue causal est un point de vue métaphysique, lié à la considération de la substance et à la conception mécaniste de la physique. L'éliminer, c'est rapprocher la science de l'expérience et de la réalité, c'est-à-dire des relations qui soutiennent les sensations.

Mach, en d'autres termes, reprend pour son propre compte l'analyse et les conclusions de Hume, de Mill, et de tous les phénoménistes, d'après lesquelles la relation causale n'a rien de *substantiel*, et n'est qu'une habitude mentale. Il a repris d'ailleurs à son propre compte la thèse fondamentale du phénoménisme dont celle-ci n'est qu'une conséquence : il n'existe que des sensations.

Mais il ajoute, et dans une direction nettement objectiviste : La science, en analysant les sensations, découvre en elles des éléments permanents et communs, qui ont, bien qu'abstraits de ces sensations, même réalité qu'elles, puisqu'ils sont puisés en elles par l'observation sensible. Et ces éléments communs et permanents, comme l'énergie et ses modalités, sont le fondement de la systématisation physique.

C'est une restauration dans un sens phénoméniste, puisqu'on ne cesse de se mouvoir dans le domaine de la sensation et de l'expérience sensible, de la notion objective par excellence, de la notion du nécessaire.

L'ordre et la systématisation des sensations, qui résultent de leur analyse, ne sont pas une habitude mentale, une description subjective, conventionnelle, arbitraire comme ils le seraient s'ils restaient fondés sur la séquence causale. au sens de Mill, c'est-à-dire sur une simple association d'idées. Mais ils résultent des propriétés réelles des sensations et de la nature des phénomènes.

Et voilà comment on peut comprendre, ce qui serait

incompréhensible dans toute autre interprétation de la pensée de Mach, ces quelques lignes qui expriment l'idéal lointain de la construction scientifique pour l'école énergétique, et qui est la formule la plus nette d'une physique objective :

« Une recherche physique plus circonspecte conduira à l'analyse des sensations. Nous reconnaitrons alors — et nous commençons actuellement à le faire — que notre sensation de faim n'est pas essentiellement différente de la tendance de l'acide sulfurique vers le zinc, et que notre volonté n'est pas si différente de la pression de la pierre sur son support. Nous nous retrouverons ainsi *plus près de la nature*, sans qu'il y ait besoin de nous résoudre en un incompréhensible amas nuageux de molécules, où de faire de l'Univers un système de groupements d'esprit. On ne peut naturellement que conjecturer la *direction* dans laquelle on peut s'attendre à ce qu'une recherche longue et pleine de fatigue conduise vers la lumière. Ce serait faire de la mythologie et non de la science que de vouloir *anticiper* sur le résultat, ou essayer de l'introduire, si peu que ce soit, dans les recherches scientifiques actuelles.

« La science ne demande rien de ce qui n'est pas, ou n'est pas encore abordable à la recherche actuelle.

« Il se peut que des champs qui lui sont encore fermés aujourd'hui s'ouvrent plus tard à son activité. Alors, aucun homme de jugement sain, loyal envers lui-même et envers les autres, n'hésitera à échanger son *opinion* sur une chose de ce domaine contre la *connaissance* de cette chose ¹ ».

V. — L'ÉNERGÉTIQUE D'OSTWALD

1. — Mach n'a jamais présenté un tableau d'ensemble du contenu des sciences physico-chimiques, disposé d'après ses idées. Après avoir exposé ses idées en 1867, dans une courte communication « sur la définition de la masse, parue dans le *Répertoire de la physique expérimentale* de Carl (1868), et dans une conférence faite en 1871, il laissa à

1. MACH, *La Mécanique*, p. 433, 434.

Kirchhoff le soin de développer partiellement l'application scientifique de ses principes à la mécanique (1874), et à Avenarius, Pearson et Stallo, leur vulgarisation philosophique. Il semble que ce soit Ostwald qui puisse être proposé comme l'héritier scientifique direct des idées de Mach, en ce qui concerne les sciences physico-chimiques. Il a, en effet, proposé sa conception énergétique de la physique comme une description pure et simple des faits, et une description conceptuelle, formelle, qui renonce à toute figuration, à toute représentation matérielle des phénomènes physico-chimiques. Ostwald a attiré l'attention sur ses propres conceptions, en 1895, par un véritable pamphlet : *Die Überwindung der wissenschaftlichen Materialismus*, traduit partiellement en français sous ce titre : *La Déroute de l'atomisme*. Il y annonce une réforme de la physique générale, qui accentue la direction proposée par Rankine, et est en quelque sorte l'enveloppe concrète des idées de Mach, leur réalisation, dans le domaine de la science physique :

« C'est, dit-il, en suivant le chemin de l'énergétique que nous répondrons au véritable sens de l'appel de Kirchhoff si souvent mal interprété : A la prétendue explication de la nature, substituer la description des faits¹. » Il eût pu ajouter, au nom de Kirchhoff, ceux de Rankine et surtout de Mach, qui fut le véritable inventeur de la formule².

2. — Mayer avait découvert l'équivalence de la chaleur et du travail. Il ne vit pas lui-même toutes les conséquences de sa découverte ; il en fut de même de ceux qui ont le plus fait pour la défense de cette loi d'équivalence : Helmholtz, Clausius, W. Thomson. Ils interprétèrent cette équivalence comme l'indice de la possibilité de la réduction de toutes les formes de l'énergie à l'énergie mécanique. « De cette manière, on réalisait ce qui semblait le plus pressant :

1. OSTWALD, *La Déroute de l'Atomisme contemporain* (*Revue générale des Sciences*, 1895, p. 958).

2. Voir MACH, *La Mécanique*, préface de la traduction française ; Mach y revendique le droit de priorité sur Kirchhoff, qui d'ailleurs n'aurait appliqué que partiellement ses idées,

rattacher la nouvelle idée à la théorie mécanique alors régnante, mais l'idée perdait son principal caractère¹. » Ce caractère est l'équivalence de *toutes* les formes de l'énergie, dont l'expérience de Mayer ne révèle qu'un cas partiel. L'équivalence de toutes les formes de l'énergie, loin d'aller vers une réduction progressive de toutes ces formes à l'une d'entre elles (l'énergie mécanique), les pose, au contraire, *toutes sur le même plan*. La notion de l'énergie non spécifiée est donc établie comme primitive. Immédiatement, l'expérience la différencie en plusieurs spécifications dérivées : *L'énergie cinétique* (d'où résulte, par une nouvelle dérivation, la notion mécaniste de *masse*, qui n'est que la capacité d'énergie cinétique); *l'énergie de volume* (d'où dérive encore la notion mécaniste d'*impénétrabilité*); *l'énergie de position* qui, particularisée, engendre la notion de *poids*). Enfin, les énergies thermique, électrique, chimique², etc.

La matière s'évanouit : « elle n'a plus même *l'espace* qu'elle occupait, car cet espace ne nous est connu que par la dépense d'énergie nécessaire pour le pénétrer. La matière n'est autre chose qu'un groupe de différentes énergies, rangées ensemble dans l'espace, et tout ce que nous voulons en dire, nous le disons de ces énergies seulement³. »

3. — Ces énergies ne sont rien autre chose que la cause de nos sensations. Elles sont le véritable contenu de nos expériences réelles. « Toutes nos sensations ont un caractère commun et un seul : elles correspondent à une différence d'énergie entre les organes des sens et le milieu qui les entoure⁴. » L'énergie, ses différentes formes, leurs rapports de variation et de transformation, voilà donc bien le contenu de l'expérience, l'objet, et le seul objet de la con-

1. OSTWALD, *La Déroute de l'Atomisme contemporain* (*Revue générale des Sciences*, 1895, p. 956).

2. *Id.* *Abrégé de Chimie générale*, trad. fr., p. 237 sq.

3. *Id.*, p. 957. Comparer cette citation avec la critique que Duhem fait d'Ostwald dans la citation de la page 113 et dans laquelle il soutient qu'Ostwald réduit la réalité physique à..... l'espace.

4. *Id.*, p. 956.

naissance. Quelle image nous faire alors de la réalité ? « Mais on n'a besoin d'aucune image, d'aucun symbole ¹. » Toute image déforme les phénomènes physico-chimiques, puisque ceux-ci ne sont que des variations d'énergie. Il faut voir ces phénomènes, directement, « autant que le permettent nos forces intellectuelles ². » Dépouillées des masques forgés par nous, les réalités expérimentales ne sont plus que des capacités d'énergie, des transformations d'énergie, des variations d'énergie. Le rôle de la science est d'établir des rapports entre ces réalités, « de telle sorte que les unes étant données, les autres s'en déduisent ».

4. — Tous les phénomènes du monde réel, en dépit de leur infinie variété, ne sont que des cas particuliers et bien définis de toutes les possibilités que nous pouvons concevoir. Distinguer, parmi les cas possibles, les cas réels, telle est la signification des lois naturelles. Toutes se ramènent à la même forme : trouver un *invariant*, c'est-à-dire une grandeur qui demeure invariable quand toutes les autres varient entre les limites possibles, limites assignées par la loi même ³. « Or, un premier invariant général fut découvert avec la notion de masse. L'idée mécaniste de la matière n'en est qu'une extension. » A cette conception insuffisante, Galilée dut joindre celle de la force, pour expliquer l'évolution incessante de l'Univers. Mais la force ne possédait pas l'invariance et après la découverte de ces invariants partiels, *force vive et travail*, Mayer découvrit l'invariant le plus général, l'énergie « qui gouverne toutes les forces physiques ⁴ ». La notion substantielle et métaphysique de matière et toutes ses dérivations n'avaient plus qu'à lui céder la place. L'énergie est le fond commun et réel de toutes les sensations.

C'est ainsi que l'énergétique, tout en supprimant (ou mieux, *parce qu'elle* supprimait) les représentations figuratives, et en employant des représentations purement con-

1. *Id.*, p. 956.

2. *Id.*, p. 956.

3. *Id.*, p. 954.

4. *Id.*, p. 956.

ceptuelles, un formulaire mathématique de description, selon les idées théoriques de Mach, réalisait une physique plus expérimentale, plus réaliste, plus objective qu'elle ne l'avait jamais été, surtout avec le mécanisme.

Les représentations proposées par Ostwald ne doivent, en effet, d'après lui, « contenir rien de plus, rien de moins que les faits à représenter ¹. »

« J'ai insisté déjà sur ce que les théories mécaniques usuelles ne satisfont pas à cette condition ; et j'ai des raisons de croire que, par essence même, elles ne peuvent jamais y satisfaire. Il m'est malheureusement impossible d'exposer ici ces raisons avec tout le développement nécessaire ; mais je puis en indiquer la tendance. Comme on le sait, on distingue, depuis Hamilton, deux espèces de grandeurs physiques : les *scalaires* et les *vecteurs*. Ces deux espèces de grandeurs sont de nature essentiellement différente, et l'on ne peut jamais représenter l'une par l'autre. Je suis persuadé qu'il existe un plus grand nombre de grandeurs d'essence différente ; et je me crois fondé à admettre que les diverses formes de l'énergie sont caractérisées toutes par des grandeurs, possédant une telle individualité. Que cela soit confirmé, et le fait que la mécanique n'a pu donner, jusqu'à présent, une image complète de la nature, apparaîtra comme une nécessité ² ».

5. — L'experimentalisme de la nouvelle physique est même à ce point « réaliste » qu'Ostwald se croit le droit de dire que les restrictions apportées à la légitimité comme à l'étendue des conclusions de la physique tombent d'elles-mêmes : la science physique est non seulement *une* connaissance objective, elle est *la* connaissance objective. Par rapport à son objet, elle est *la science* de cet objet au sens grec du mot. Bien entendu, il ne s'agit pas d'une objectivité transcendante au point de vue humain. Les questions qui ne sont pas du domaine de l'expérience, donc du domaine dont l'homme est la mesure, restent hors

1. *Id.*, p. 957.

2. W. OSTWALD, *Lettre sur l'Energétique* (*Revue générale des Sciences*, 1895, p. 1070).

de discussion. Mais l'expérience humaine porte, en elle-même, de quoi s'expliquer, en satisfaisant la curiosité humaine jusqu'au bout. L'expérience se suffit à elle-même, dans le système de nos connaissances.

« Le profit ne paraîtra pas mince pour lever un obstacle qui a causé à beaucoup de graves soucis. Je veux parler des déclarations fautes concernant l'avenir de notre connaissance de la nature, que Du Bois-Reymond, le célèbre physiologiste de l'Université de Berlin, a faites d'abord au Congrès des Naturalistes, à Leipzig, ensuite dans quelques mémoires plus étendus, et dont le point saillant est cet *Ignorabimus* tant commenté. Dans la longue polémique suscitée par cette parole, la victoire est restée, me semble-t-il, à Du Bois-Reymond, car tous ses adversaires s'appuyaient sur le principe même dont il avait déduit son *ignorabimus* et ses conclusions valaient ce que vaut ce principe lui-même. Ce principe, qu'à ce moment personne ne songeait à mettre en discussion, c'est la conception mécanique de l'Univers ; c'est la supposition que le dernier stade auquel peut parvenir notre explication du monde est de le ramener à un système de points matériels en mouvement. Si ce principe disparaît, et il doit disparaître, comme nous l'avons vu, l'*ignorabimus* tombe, et la route se rouvre à la science. Je ne pense pas que cette conclusion étonne qui que ce soit : si j'en juge par moi-même, aucun physicien ou naturaliste n'a cru fermement à l'*ignorabimus*, sans en reconnaître peut-être le point faible, que je viens de signaler ¹ ».

Cette profession de foi scientifique montre nettement combien la réforme de la physique générale préconisée par Ostwald est dans la tradition de l'esprit scientifique qui a régné sur la physique moderne, dans l'esprit et la manière de la Renaissance. La physique reste plus que jamais une *description objective des faits*, et leur *systématisation mathématique*.

1. *Id.*, p. 955.

VI. — CONCLUSIONS

1. — Les sciences physico-chimiques doivent nous mettre en définitive en face d'un tableau qui reproduise de la façon la plus claire *l'ordre et l'enchaînement de phénomènes naturels, l'ensemble de toutes nos sensations actuelles et possibles et leurs relations : de telle sorte que nous puissions les reproduire et les prévoir.*

D'un point de vue métaphysique, d'une conception peut-être impensable, d'une connaissance *absolue*, l'énergétisme, comme le kantisme, comme le positivisme, peut passer superficiellement pour un scepticisme. Mais si on l'examine en lui-même, on voit qu'il est un effort pour mettre la science à l'abri de tout scepticisme et de toute critique. Il asseoit sa certitude d'une façon inébranlable, et lui donne une valeur complète dans le monde de l'expérience que, seul, nous pouvons nous représenter, et dans lequel, seul, nous avons accès, tout en reconnaissant qu'il ouvre un champ illimité d'exploration et de progrès.

2. — On peut dire que l'énergétisme nous libère à la fois du scepticisme fidéiste et de la métaphysique qu'on lui oppose, en affirmant qu'il est contradictoire ou impensable de chercher quelque chose derrière les phénomènes. Les phénomènes, les sensations, sont, toujours et partout, ce dont la connaissance part et ce à quoi elle aboutit. Chercher plus loin, c'est commettre la même absurdité, le même défi à la pensée saine, que se demander si l'on ne pourrait pas faire du jour la nuit, ou de la nuit le jour, en changeant notre langage : chose évidemment facile, puisqu'au fond cela reviendra exactement au même. Parler d'un espace *absolu* ou d'un temps *absolu* en physique, chercher les éléments *absolus* des phénomènes, des lois *absolues*, des causes *absolues*, etc..., c'est nommer d'une certaine façon certaines de nos sensations, ou certaines copies que notre pensée s'en fait : pourquoi ne pas s'en tenir au langage ordinaire et introduire cette inutile complication?... L'expérience tout entière est un absolu, et il n'y a pas d'absolu à chercher derrière l'expérience, du

moins au point de vue de la recherche scientifique. Le mécanisme traditionnel a eu le tort de donner une valeur ontologique, transcendante, à des éléments qui ne pouvaient avoir de valeur que comme objet d'expérience possible. Par là trop souvent il a eu le tort de laisser supposer que l'expérience n'avait qu'une valeur relative, et que peut-être le *rationnel* en tant qu'on l'opposait à l'expérience, dans une conception voisine du cartésianisme, dépassait en valeur l'expérience elle-même. Rationnel et expérience, du point de vue de Mach, ont une valeur identique, car au fond ils sont identiques : ils constituent la connaissance *rationnelle* si l'on prend pour centre l'agent de la connaissance, *expérimentale* si l'on considère son objet. La connaissance scientifique en elle-même est un tout indivisible, au-delà de laquelle la science n'a rien à supposer : elle est une expérience rationnelle qui se suffit à elle-même.

On voit donc, avec Mach et Ostwald, se préciser les indications méthodologiques données par Rankine, en ce qui concerne les rapports de l'expérience et de la conception générale de la physique. C'est à une conception *absolument expérimentale* des bases de la physique qu'ils aboutissent. La science physique est le développement, et n'est que le développement de l'expérience physique. Le rationnel se constitue, avec ce développement et au sein de ce développement, de telle façon qu'il forme ou doit former avec lui, au terme, une unité indivisible. Jamais, autant qu'avec Mach ou Ostwald, le savant n'a lu d'aussi près la loi dans l'expérience. Jamais encore l'expérience n'avait été aussi nettement la mesure de toute connaissance.

3. — Mais expérience ne signifie pas ici inertie de l'esprit devant les choses : expérience signifie accommodation, adaptation réciproques et mutuelles des choses connues et de l'agent qui connaît, dans l'unité indivisible du résultat. Toute distinction, tout dualisme d'objet et de sujet, doivent s'effacer devant les résultats que la science physique considère comme définitifs. Il n'y a plus que le fait nécessaire : « Voilà ce qu'est le monde physique », telle est la conclusion-limite du physicien ; quant à chercher s'il pourrait être

autre qu'il n'est, c'est absurde. Il est ce qu'il est, quelle que soit l'opération par laquelle il s'est posé nécessairement comme il est. Pour nous il sera toujours cela et ne pourra être autre chose que cela. Nature et esprit se sont pénétrés mutuellement.

Qu'est-ce donc alors que le principe de l'économie de la pensée ? Qu'est-ce que les théories qui, œuvres de l'esprit, annonciatrices de l'expérience future, nous indiquent, par les forces du seul raisonnement, la conclusion que vérifiera l'expérience ? En eux-mêmes, ce sont des instruments de méthode : ce sont les oscillations de l'adaptation, de l'adéquation qui se prépare. Et nous retrouvons ici la conception méthodologique de la théorie physique indiquée déjà par Rankine. La construction rationnelle ne se sépare de l'expérience que dans la connaissance imparfaite, c'est-à-dire là où il n'y a pas expérience complète, et là où il n'y a pas, non plus, complète rationalité. Mais alors, il n'y a pas non plus résultat scientifique ; il y a simplement recherche scientifique : un moment de la méthode. Tout ce que la théorie physique ajoutera à l'expérience, par les seuls moyens de l'esprit et de l'activité rationnelle, tout cela, qui n'est pas à dédaigner, — loin de là, puisque c'est la science qui se fait, — est d'ordre méthodologique et toujours, dans une large mesure, subjectif. Lorsque l'expérience aura vérifié les prévisions de la théorie, à ce moment, mais à ce moment seulement, la théorie sera, dans ces limites, incorporée aux résultats expérimentaux de la science physique ; elle ne sera plus théorie, méthode ; elle sera fait objectif.

4. — Et c'est pourquoi, malgré toutes les divergences dans le mode de représentation, on ne peut pas dire que la réforme constitue une rupture avec l'évolution de la physique depuis le xvi^e siècle. Elle continue cette évolution, et conserve même, comme ensemble partiel, l'ensemble des résultats construits avec les seuls principes de la mécanique. Ceci est très net chez Mach. Seulement Mach, et plus nettement Ostwald, ne voient plus là qu'une branche de la physique. A côté de cette branche, il faut en déve-

lopper — sans savoir encore si elles pourront se réduire de sitôt à l'unité — plusieurs autres sur des principes autonomes. A cette seule condition, il est permis d'avoir une représentation satisfaisante de l'expérience.

Chercher à dériver ces principes des principes de la mécanique, chercher à asscoir la physique sur la mécanique est chimérique. La physique doit être autonome, aussi bien par rapport à la mécanique qu'à la syllogistique du moyen âge.

5. — Aussi ne revenons-nous nullement à la physique qualitative de cette époque. Les qualités dont Ostwald parle avec complaisance n'ont rien à voir avec les qualités occultes du péripatétisme, avec les concepts aristotéliens : ce sont des *grandeurs*, irréductibles à d'autres, comme les grandeurs vectorielles ou tensorielles le sont par rapport aux grandeurs scalaires ordinaires ; mais ce sont des grandeurs ; ce sont des quantités, qui s'expriment, se combinent et se développent, d'une façon mathématique, non par syllogisme, mais par démonstration, *more geometrico*. La restauration de la qualité se borne à proclamer l'autonomie d'une application de la science de la quantité dans une branche de la science de la nature, par rapport à son application dans les autres branches. Et ici encore les idées traditionnelles ont été développées, précisées, élargies. Elles n'ont pas été atteintes, non plus que les idées fondamentales de la méthode positive et rationnelle, appliquée à la nature depuis la Renaissance.

CHAPITRE III

La structure de la théorie physique dans la physique conceptuelle : Les idées de Duhem

I. — *Le point de vue de Duhem.*

1. L'œuvre des prédécesseurs de Duhem dans l'édification de la conception conceptuelle de la physique. — 2. Ils négligent l'analyse de la structure de la théorie physique ; c'est à cette analyse que s'attache Duhem. — 3. *La critique philosophique de la science et les théories physiques* : les empiriques purs. — 4. Les sceptiques.

II. — *Partie destructive de la critique de Duhem.*

1. Critique de la théorie physique dans le mécanisme traditionnel. — 2. Toute espérance de voir les progrès de la science la justifier un jour est illusoire.

III. — *L'œuvre positive de Duhem.*

1. Un point de vue plus général doit être substitué à celui de l'ancienne mécanique. — 2. Développement du nouveau point de vue : la structure de la théorie physique. — 3. La part de la convention dans cette structure. — 4. Les caractères de la physique théorique d'après Duhem : a) son formalisme ; b) la condition expérimentale limite de ce formalisme. — 5. Le formalisme arbitraire n'est pas inutile. — 6. Il n'est pas purement subjectif : ses rapports avec l'expérience. — 7. Valeur de la théorie physique : la théorie ne peut être un décalque de l'expérience. — 8. Mais elle doit de plus en plus s'acheminer vers un schème pleinement représentatif de l'expérience, vers une *classification naturelle* des phénomènes.

IV. — *Conclusions.*

1. La conception de la théorie physique que nous présente Duhem n'a rien qui contredise *l'expérimentalisme* de la nouvelle école. — 2. Objectivité de la science physique. — 3. Valeur méthodologique de la théorie. — 4. Autonomie de la physique. — 5. Dans quel sens, *sur le terrain scientifique*, Duhem entend restaurer les notions qualitatives.

I. — LE POINT DE VUE DE DUHEM

1. — Rankine a donné une idée de la méthode nouvelle, et on a pris contact avec elle en suivant son application aux définitions fondamentales de la physique. Mach et Ostwald

ont montré ensuite comment cette méthode se prête, mieux que tout autre, à faire progresser la recherche expérimentale, et à en représenter les résultats. Mais ils ne se sont guère attachés à examiner en elle-même, dans ses procédés logiques cette représentation : c'est-à-dire la nouvelle théorie physique.

2. — C'est cet objet, au contraire, que s'est proposé plus spécialement Duhem. En ajoutant l'analyse de ses idées à celles des idées de Rankine, de Mach et d'Ostwald, nous aurons une vue à peu près complète de la réforme qu'on a opposée au mécanisme traditionnel. Duhem substitue, en effet, à l'esquisse de Rankine une œuvre achevée ; il suit la même méthode, mais en s'affranchissant plus complètement des souvenirs classiques. Il analyse, en outre, — et c'est ce qui surtout nous intéresse, — la structure logique de la partie théorique et systématisatrice de la nouvelle physique, en descendant dans les détails les plus minutieux, pour en déterminer la nature, la valeur et les limites. Cette analyse est, ici, essentielle, car trop souvent, comme on va le voir, la critique philosophique a sophistiquement déduit des réflexions des réformateurs la vanité de toute physique théorique qui voudrait se présenter comme savoir.

Après avoir examiné la réfutation directe que Duhem fait précisément de ces conclusions philosophiques, ce qui dégage bien son point de vue général, j'étudierai, comme pour Rankine et Mach, sa critique destructive de la structure traditionnelle de la théorie physique, et enfin son œuvre constructive.

3. — La critique scientifique, que l'on a résumée jusqu'ici, aboutit à cette conclusion : les sciences n'ont pas une valeur ontologique. Elles n'assignent pas de *causes*, si l'on prend ce mot dans son sens métaphysique. Les sciences ne font que constater entre les phénomènes des relations, des liaisons qui sont nécessaires pour en tracer une description exacte, description qui permet la prévision. Quant aux hypothèses mécanistes imaginées pour rendre compte de ces liaisons, ce sont des fictions de l'esprit, pra-

tiquement utiles, mais des fictions, et ce ne seront jamais que des fictions. On peut en imaginer une infinité d'équivalentes, de même que, pour correspondre, on peut combiner une infinité de systèmes de signaux.

Que deviennent alors les théories physiques ? Doit-on les admettre encore, à un nouveau point de vue, ou les rejeter ?

Il semble que ces deux tendances coexistent, dans la critique *philosophique* de la science. Certains métaphysiciens surenchérisent sur l'attitude positiviste et ne veulent rien admettre en dehors des résultats expérimentaux. Etudier un phénomène, c'est faire un certain nombre de mesures. L'étude est d'autant plus parfaite que les mesures sont plus exactes. Ces mesures permettent d'établir quelques relations mathématiques approchées qui expriment soit les variations du phénomène, soit ses rapports avec d'autres phénomènes.

La science n'est plus qu'un recueil de recettes, ou mieux, qu'une collection d'observations faites avec précision. C'est l'empirisme le plus absolu. Les hypothèses n'ont plus aucune raison d'être. La physique théorique est une superfétation.

Il n'est pas un savant qui adopterait entièrement cette attitude, et Duhem n'a pas de peine à montrer qu'elle n'existe pas et ne saurait exister sur le terrain scientifique.

« Pour le physiologiste, pour le chimiste, comme pour le physicien, l'énoncé du résultat d'une expérience implique en général un *acte de foi en l'exactitude de tout un ensemble de théories*..... Prétendre séparer l'observation de toute théorie, se vanter d'avoir écrit un mémoire purement expérimental de physique, c'est une tentative illusoire ; autant vaudrait essayer d'énoncer une idée sans employer aucun signe parlé ou écrit ¹....

1. « Regnault étudie la compressibilité des gaz ; il prend une certaine quantité de gaz, il l'enferme dans un tube de verre ; il maintient la température constante ; il mesure la pression que supporte le gaz et le volume qu'il occupe. Voilà, dira-t-on, l'observation minutieuse et précise de certains phénomènes, de certains faits. Assurément, devant Regnault, entre ses mains, entré les mains de ses aides, des faits se sont produits ; est-ce le récit de ces faits que Regnault a consigné pour contribuer à l'avancement de la phy-

« La physique n'est pas une machine qui se laisse démonter. On ne peut pas essayer chaque pièce isolément et attendre, pour l'ajuster, que sa solidité en ait été minutieusement contrôlée ; la science physique, c'est un organisme que l'on doit prendre tout entier ; c'est un organisme dont on ne peut faire fonctionner une partie sans que les parties les plus éloignées de celle-là entrent en jeu les unes plus, les autres moins, toutes à quelque degré ; si quelque gêne, les plus éloignées de celles-là entrent en jeu, les unes plus, sicien sera obligé de deviner quel est l'organe qui a besoin d'être redressé ou modifié, sans qu'il lui soit possible d'isoler cet organe et de l'examiner à part ; l'horloger auquel on donne une montre qui ne marche pas en sépare tous les rouages et les examine un à un, jusqu'à ce qu'il ait trouvé celui qui est faussé ou brisé ; le médecin auquel on présente un malade ne peut le disséquer pour établir son diagnostic, il doit deviner le siège du mal par la seule ins-

sique ? Non, dans un viseur Regnault a vu l'image d'une certaine surface de mercure affleurer à un certain trait ; est-ce là ce qu'il a écrit dans la relation de ses expériences ? Non, il a inscrit que le gaz occupait un volume ayant une telle valeur. Un aide a élevé et abaissé la lunette d'un cathéthomètre jusqu'à ce que l'image d'un niveau du mercure vint affleurer le fil d'un réticule ; il a alors observé la disposition de certains traits sur le vernier du cathétomètre ; est-ce là ce que nous lisons dans le rapport de Regnault ? Non, nous y lisons que la pression supportée par le gaz avait une telle valeur. Un autre aide a vu dans un thermomètre le mercure affleurer à un certain trait invariable ; est-ce là ce qu'il a consigné ? Non, on a marqué que la température était fixe et atteignait tel degré. Or qu'est-ce que la valeur du volume occupé par le gaz, qu'est-ce que la valeur de la pression qu'il supporte, qu'est-ce que le degré de température auquel il est porté ? Sont-ce des faits ? Non, ce sont trois abstractions.

« Pour former la première de ces abstractions, la valeur du volume occupé par le gaz, et la faire correspondre au fait observé, c'est-à-dire à l'affleurement du mercure en un certain trait, il a fallu jauger le tube, c'est-à-dire faire appel non seulement aux notions abstraites de l'arithmétique et de la géométrie, aux principes abstraits sur lesquels reposent ces sciences, mais encore à la notion abstraite de masse, aux hypothèses de mécanique générale et de mécanique céleste qui justifient l'emploi de la balance dans la comparaison des masses. Pour former la seconde, la valeur de la pression supportée par le gaz, il a fallu user des notions si profondes, si difficiles à acquérir de pression, de forces, de liaison, appeler en aide des lois mathématiques de l'hydrostatique, fondées

pection des effets produits sur le corps entier ; c'est à celui-ci, non à celui-là, que ressemble le physicien.

... « Les vérifications expérimentales ne sont pas la base de la théorie ; elles en sont le couronnement ¹. »

4. — L'empirisme est donc une fiction, la science, simple résumé de la constatation expérimentale, une chimère. Mais ne semble-t-il pas alors que la vérité soit rencontrée chez les logiciens qui prétendent que la science n'est qu'un discours, — pour organiser d'une façon commode nos connaissances, — et qu'il y a autant de formes scientifiques que de langues imaginables ? Par la perception, nous mettons déjà de nous-mêmes dans la représentation en apparence la plus immédiate. L'analyse du souvenir, puis de la conception, ne laissent à peu près plus rien d'objectif dans la connaissance. Partout nous voyons une construction complexe et symbolique effectuée pour satisfaire nos besoins pratiques. Nos observations scientifiques sont, en dernière analyse, des artifices ingénieux que conseille la conservation de l'individu ou de l'espèce. Nous avons pratiquement

elles-mêmes sur les principes de la mécanique générale ; faire intervenir la loi de compressibilité du mercure dont la détermination se relie aux questions les plus délicates et les plus controversées de la théorie de l'élasticité. Pour former la troisième, il a fallu définir la température, justifier l'emploi du thermomètre ; et tous ceux qui ont étudié avec quelques soins les principes de la physique savent combien la notion de température est éloignée des faits et difficile à saisir. — Ainsi quand Regnault faisait une expérience, il avait des faits devant les yeux, il observait des phénomènes. Mais ce qu'il nous a transmis de cette expérience, ce n'est pas le récit des faits observés ; ce sont des données abstraites que les théories admises lui ont permis de substituer aux documents concrets qu'il avait réellement recueillis. — Ce que Regnault a fait, c'est ce que fait tout physicien expérimentateur. Voilà pourquoi nous pouvons énoncer ce principe dont la présente étude développera les conséquences : une expérience de physique est l'observation précise d'un groupe de phénomènes accompagnée de l'interprétation de ces phénomènes. Cette interprétation substitue aux données concrètes recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories physiques admises par l'observateur. » (DUHEM, *Réflexions sur la physique expérimentale*, *Revue des questions scientifiques*, juillet 1894, p. 192 à 197).

1. DUHEM, *La physique expérimentale* (*Revue des questions scientifiques*, juillet 1894, p. 192, 197).

choisi tels ou tels éléments et négligé les autres ; pratiquement nous les avons enchaînés dans cet ordre et non dans cet autre ; nous avons visé une fin pratique particulière. Ce scepticisme technique conserve donc bien les théories scientifiques, mais les considère comme des hypothèses, admises conventionnellement entre une infinité d'autres possibles ; la science entière n'est qu'un ensemble d'hypothèses du même genre.

Cette conclusion, Duhem la repousse aussi vivement que la conclusion empirique¹. La théorie n'est pas un artifice ingénieux pour classer nos connaissances d'une façon aisée, semblable à l'ordre conventionnel adopté pour arranger nos livres ou nos fiches. Elle a un rapport certain avec la réalité, c'est-à-dire avec les constatations expérimentales — la preuve en est que l'expérience doit intervenir finalement pour la confirmer ou l'invalider. Ce qui est arbitraire, c'est tout ce qui va nous permettre de faire correspondre l'ordre de nos pensées à l'ordre réel. Mais ce qui ne l'est plus, c'est la correspondance elle-même. Tant que nous développons la théorie, nous avons, ouverts devant nous, les chemins les plus divers et les plus multiples, comme un voyageur qui, sans indication, se trouve à un carrefour. Mais il y a une route qui, parmi toutes les autres, le mènera au terme de son voyage. Il peut même y en avoir plusieurs ; seulement il en sera encore une plus courte, ou mieux tracée, ou mieux entretenue. Une fois arrivé au terme, on pourra déterminer cette route d'une façon certaine. Au lieu donc de prétendre avec les néo-sceptiques que tout chemin mène au but, nous devons dire qu'il y aura un développement théorique qui, mieux que tout autre, correspondra à l'ordre des phénomènes que nous voulons décrire.

Il y aura ainsi un ensemble de théories qui s'imposera, au moins dans les lignes générales, à l'exclusion de tout autre. Il constituera *la* physique théorique ; celle-ci sera déterminée et une, et non arbitraire et multiple. A son achèvement, dès qu'elle est confrontée avec l'expérience,

1. DUHEM, *Physique de croyant* (*Annales de philosophie chrétienne*, novembre 1905, p. 137).

son arbitraire et sa diversité jusque-là possibles, s'évanouissent — momentanément du moins, tant que des connaissances nouvelles ne viendront point la contredire.

Examinons par exemple la théorie de l'électricité à laquelle Maxwell a attaché son nom. Par une suite peu cohérente, parfois incorrecte et illogique de déductions, Maxwell est parvenu à des équations utiles pour interpréter certains phénomènes. Le néo-scepticisme serait en droit de dire ceci : Qu'importe la déduction de Maxwell ? Qu'importe *la* théorie qu'il propose ? Nous savons qu'une infinité d'autres pourraient s'y substituer. Sans nous arrêter au chapitre de physique théorique qu'il a esquissé, et qu'on peut remplacer comme bon semble, gardons l'expression mathématique, à titre de symbole commode de l'expérience, et ne donnons pas à ce *discours verbal* d'autre valeur.

Le physicien a-t-il le droit d'agir ainsi ?

« ... Un algébriste a toujours le droit de prendre un groupe quelconque d'équations et de combiner ces équations entre elles, selon les règles du calcul. Les lettres que liaient certaines relations sont impliquées dans d'autres relations algébriquement équivalentes aux premières. Mais *un physicien n'est pas un algébriste*; une équation ne porte pas simplement, pour lui, sur des lettres ; ces lettres symbolisent des grandeurs physiques qui doivent être *ou mesurables expérimentalement, ou formées d'autres grandeurs mesurables*. Si donc on se contente de donner à un physicien une équation, on ne lui enseigne rien du tout ; il faut, à cette équation, joindre l'indication des règles par lesquelles on fera correspondre les lettres sur lesquelles porte l'équation aux grandeurs physiques qu'elles représentent. Or ces règles, ce qui les fait connaître, c'est l'ensemble des hypothèses et des raisonnements par lesquels on est parvenu aux équations en question : c'est la *théorie* que ces équations résument sous forme symbolique : en physique, une équation, détachée de la théorie qui y a conduit, n'a aucun sens.

« Selon H. Hertz des théories sont identiques lorsqu'elles conduisent aux mêmes équations. « A cette question (dit

H. Hertz) : « Qu'est-ce que la théorie de Maxwell ? » je ne connais aucune réponse plus précise et plus brève que celle-ci : « La théorie de Maxwell, c'est le système des équations de Maxwell. » Toute théorie qui conduit à d'autres équations et par conséquent fait prévoir la possibilité d'autres phénomènes sera pour moi une autre théorie ».....

« Ce critérium ne saurait suffire à juger l'équivalence de deux théories ; pour qu'elles soient équivalentes, il ne suffit pas que les équations qu'elles proposent soient littéralement identiques : il faut encore que les lettres qui figurent dans ces équations représentent des grandeurs liées de la même manière aux quantités mesurables ; et pour s'assurer de ce dernier caractère, il ne suffit pas de comparer les équations, il faut comparer les raisonnements et les hypothèses qui constituent les deux théories ¹ ».

Ces raisonnements et ces hypothèses, c'est-à-dire la théorie, ont donc une valeur propre, un aspect nécessaire, un rôle spécifique. Ils doivent prendre une forme déterminée. On peut alors parler de *la* physique théorique ; car elle correspond à quelque chose de réel. Discours conventionnel, à son origine, elle devient langue universelle, voire nécessaire, dès qu'elle nous permet de relier un ensemble de faits expérimentaux et tant que cet ensemble ne subit pas de graves transformations par suites de découvertes nouvelles.

Cette restriction semble, malgré tout, faire pencher la balance du côté de la conception que Duhem combat. A un même moment de l'évolution scientifique nous n'admettons pas, il est vrai, qu'un nombre quelconque d'hypothèses puissent aussi bien les unes que les autres organiser nos connaissances physico-chimiques et en représenter fidèlement l'état général. Mais si nous admettons que la théorie ne vaut que pour un moment du temps, ne retrouvons-nous pas cette multiplicité au fur et à mesure des développements de la science ? Elle n'est plus simultanée, mais elle se

1. Références des deux citations consécutives : DUHEM, *Les théories électriques de Maxwell*, p. 221, 223 : les mots soulignés le sont par moi.

manifeste aussi bien, dès que nous considérons plusieurs moments successifs. La physique théorique redevient ainsi un jeu illusoire de l'esprit. Il y a peut-être à chaque instant une physique théorique plus commode, partant plus acceptable dans un état donné de la science, état essentiellement passager et transitoire ; mais si nous nous élevons au-dessus des contingences actuelles, nous retrouvons une possibilité indéfinie d'hypothèses théoriques. Il faut donc que Duhem complète sa conception, pour qu'elle soit vraiment cohérente et originale, pour qu'elle ne se confonde pas avec ce néo-scepticisme qu'il combat.

C'est ce qu'il fait en appelant à son secours sa merveilleuse érudition d'historien des sciences physico-chimiques. La physique théorique ne nous présente nullement un ensemble d'hypothèses divergentes ou contradictoires. Elle offre, au contraire, à qui en suit attentivement les transformations, un *développement continu*, une *véritable évolution*. La théorie qui paraît suffisante à un moment donné de la science ne tombe pas intégralement, dès que le champ de la science s'est élargi. Bonne pour expliquer un certain nombre de faits, elle continue à rester valable pour ces faits. Seulement elle ne l'est plus pour des faits nouveaux ; *elle n'est pas ruinée ; elle est devenue insuffisante*. Et pourquoi ? Parce que notre esprit ne peut saisir le complexe qu'après le simple, le plus général qu'après ce qui l'était moins. Aussi avait-il, pour ne pas se perdre dans les détails trop compliqués qui lui masquaient les relations exactes des choses, négligé certaines modalités, restreint les conditions de l'examen, réduit le champ de l'observation et de l'expérimentation. La découverte scientifique, si l'on sait bien la comprendre, ne fait qu'élargir à mesure ce champ, lever peu à peu certaines restrictions, réintégrer les considérations jugées d'abord négligeables.

II. — PARTIE DESTRUCTIVE

I. — Mais si nous avons besoin d'une physique théorique, pouvons-nous nous contenter de ce que nous a légué le mécanisme traditionnel? Duhem trouve qu'il est malaisé d'y loger nos connaissances physico-chimiques actuelles. Les corps de logis y sont tantôt trop étroits et tantôt trop spacieux. Certains sont contournés à l'excès : des labyrinthes. D'autres ne s'adaptent pas assez étroitement aux exigences des faits qu'on y veut faire entrer. La complication, les difficultés, les insuffisances sont partout ; l'adéquation de la théorie à la réalité, nulle part.

On doit se demander alors pourquoi toutes ces théories classiques qui sont à peu près universellement professées, qui ont reçu l'adhésion des savants les plus illustres, qui sont le résultat de trois siècles de labeurs persévérants sont si incohérentes, si incomplètes et si vagues.

Il est presque impossible de supposer qu'elles ont été, en elles-mêmes, mal développées. Leurs auteurs nous seraient un sûr garant du contraire. La réponse est donc nécessaire : c'est que l'entreprise était chimérique ; elle ne pouvait pas réussir.

Et pourquoi ne pouvait-elle pas réussir? Pourquoi les sciences physico-chimiques ne se développeraient-elles pas comme une promotion de la mécanique? C'est — et là encore il ne peut y avoir à hésiter sur la solution — que la mécanique traditionnelle, la *mécanique du mécanisme*, si l'on peut dire, est insuffisante. Elle porte sur certaines abstractions, sur certaines simplifications apportées aux phénomènes naturels, non sur les phénomènes naturels. Rien d'étonnant alors qu'on ne puisse tirer d'une série d'hypothèses qui, de parti pris, négligent certaines propriétés naturelles, une explication de ces propriétés. En somme, la mécanique de Lagrange reste enfermée dans des limites trop restreintes pour servir de cadre général à l'explication des phénomènes de la nature.

2. — On pourrait objecter, Duhem le sait bien, que si peut-être la mécanique classique ne semble pas suffire à une interprétation de l'univers, c'est qu'en l'état actuel, cet univers est encore, malgré les progrès de la science, bien mal connu. Presque infinie est la part de notre ignorance si on la compare au domaine de nos certitudes. La plus petite molécule perceptible est un système cosmique rapportée à l'atome élémentaire des théories mécaniques.

Aussi sommes-nous consciemment obligés de faire intervenir des hypothèses grossières et vagues, à la place du mécanisme réel, dont la complication et la délicatesse défient encore nos plus hardies inductions. Ces hypothèses n'exprimeront les choses qu'en gros ; elles resteront à la surface des phénomènes, elles traduiront des résultats lointains, des activités globales. Leurs mailles paraissent trop larges pour retenir le réel. Mais si, un jour, — et nous nous avançons vers ce jour, quelque lointain qu'il soit, — nous pouvons pénétrer les derniers détails du mouvement, rien ne nous prouve qu'ils ne seront pas régis rigoureusement par les lois de la mécanique traditionnelle. Nos hypothèses font intervenir, pour produire l'explication mécanique, des mouvements *cachés*, un équilibre *statistique*, c'est-à-dire des approximations grossières, pour équivaloir à ce que notre science ne sait pas encore atteindre. Mais les mouvements cachés, nous finirons par les rendre visibles, l'équilibre statistique, nous le déduirons exactement de ses composantes. Ce jour-là peut fort bien nous montrer l'obéissance complète de l'univers matériel à la mécanique de Lagrange. La mécanique de Lagrange sera coextensive à l'univers.

Duhem prétend que cette espérance est illusoire, parce que ce ne sont pas seulement dans les formules où interviennent les mouvements cachés, les équilibres statistiques que nous voyons des hiatus, des lacunes ou des incohérences. C'est déjà dans la prétendue explication des phénomènes sensibles les plus simples et les plus immédiatement donnés à l'observation.

« Une observation quelque peu attentive des phénomènes

physiques semble autoriser la conclusion suivante : « Il existe une incompatibilité radicale entre la mécanique de Lagrange et les lois de la physique ; cette incompatibilité n'atteint pas seulement les lois des phénomènes dont la réduction au mouvement est objet d'hypothèse, mais encore des lois qui régissent les mouvements sensibles.

« Mettons cette incompatibilité en évidence par des exemples très simples.

« La conséquence la plus immédiate des équations de Lagrange est assurément l'équation de la force vive. Si les forces qui sollicitent un système dépendent d'un potentiel, la somme de ce potentiel et de la force vive demeure constante pendant toute la durée du mouvement du système. Or, les actions réciproques des diverses parties du système dépendent toujours d'un potentiel ; il suffit donc que les forces extérieures dépendent d'un potentiel pour que le système soit soumis à la loi dont nous venons de rappeler l'énoncé ; en particulier, ce théorème est applicable à un système qui subit une seule action extérieure, celle de la pesanteur.

« Suivons un tel système dans son mouvement : chaque fois qu'il reprend la même forme et repasse par la même position, le potentiel des forces tant intérieures qu'extérieures reprend la même valeur ; la force vive doit donc également reprendre la même valeur ¹. »

Or, les observations les plus simples nous montrent que les mouvements naturels contredisent à la loi de la conservation de la force vive.

Il sera d'ailleurs toujours permis de supposer des mouvements cachés d'une forme telle que, juxtaposés aux mouvements sensibles, ils suffisent à expliquer les apparences expérimentales. On sera sans doute conduit à des complications formidables ; la réussite n'en sera pas moins, nécessairement et toujours, au bout de l'entreprise. Mais pouvoir *toujours* fournir une explication, en invoquant une hypothèse que laissent complètement *indéterminée* les con-

1. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (Revue générale des Sciences, 1905. p. 184).

ditions du problème et qui est purement arbitraire, revient à n'en fournir jamais aucune. A tout le moins abandonne-t-on alors toute prétention à l'objectivité. Le mouvement caché est le *deus ex machina* du physicien à court d'explications. Loin d'être le substitut d'une interprétation ultérieure plus proche des faits, il est la porte ouverte à l'arbitraire, un aveu continuuel d'ignorance.

III. — L'ŒUVRE POSITIVE DE DUHEM

1. — A la construction classique il faut de toute nécessité en substituer une autre. Duhem a abattu ; c'est pour réédifier. Quel est l'esprit de cette nouvelle mécanique ?

« Aujourd'hui, nous ne demandons plus aux théories physiques un mécanisme simple et facile à imaginer, qui *explique* les phénomènes ; nous les regardons comme des constructions rationnelles et abstraites, qui ont pour but de symboliser un ensemble de lois expérimentales ; dès lors, pour *représenter* les qualités que nous étudions, nous admettons sans difficulté dans nos théories des grandeurs d'une nature quelconque, pourvu seulement que ces grandeurs soient nettement définies ; *peu importe que l'imagination saisisse ou non les propriétés signifiées par ces grandeurs* ; par exemple, les notions d'intensité d'aimantation, d'intensité de polarisation, demeurent *inaccessibles à l'imagination* qui saisit fort bien, au contraire, les corpuscules magnétiques de Poisson, les corpuscules électriques de Faraday, recouverts, à leurs deux extrémités, par des couches fluides de signes opposés ; mais la *notion* d'intensité de polarisation implique un bien moins grand nombre d'hypothèses arbitraires que la notion de particule polarisée ; elle est plus complètement dégagée de toute supposition sur la constitution de la matière ; substituant la continuité à la discontinuité, elle prête à des calculs plus simples et plus rigoureux ; nous lui *devons* la préférence. »

La physique théorique *n'explique pas* ; elle *décrit*. « A ceux qui veulent que leurs théories expliquent la nature et les causes des lois physiques, opposons celui qui ne cherche dans la physique théorique qu'un symbole de ces lois ; celui-là ne limitera pas d'avance le nombre et la nature des *notions* qu'il lui sera permis de combiner entre elles, *il admettra dans son système d'autres grandeurs que celles de la géométrie et de la mécanique*¹ ; lorsqu'une quantité aura été nettement définie, lorsqu'on aura posé d'une manière précise les règles d'après lesquelles elle doit être traitée dans les raisonnements et dans les calculs, mesurée dans les expériences, il ne se refusera nullement à en faire usage ; si les hypothèses faites sur cette quantité permettent de bien *représenter* la classe de phénomènes qu'il étudie, son esprit sera satisfait ; il ne perdra pas son temps et ses efforts à remplacer cette *notion* par une combinaison de concepts *géométriques et mécaniques*². »

Le seul changement que connût l'ancienne mécanique était le changement par lequel un corps occupe des lieux différents à des instants différents : le *mouvement local*, le mouvement au sens restreint et vulgaire du mot. La nouvelle mécanique rendra à l'idée de mouvement la vaste extension que lui reconnaissait Aristote.

« Sans doute, elle traitera du mouvement local, des changements de lieu et de figure. Mais elle traitera aussi des changements par lesquels les diverses qualités d'un corps augmentent ou diminuent d'intensité, par lesquels un corps s'échauffe ou se refroidit, s'aimante ou se désaimante. Elle traitera également de ces changements d'état physique par lesquels tout un ensemble de propriétés qualitatives ou quantitatives est anéanti pour faire place à un autre ensemble de propriétés toutes différentes ; telles la fusion de la glace, la vaporisation de l'eau, la transformation du phosphore blanc en phosphore rouge. Ces changements

1. Cf. la théorie d'Ostwald.

2. DUHEM, *Réflexions au sujet des théories physiques* (*Revue des questions scientifiques*, janvier 1892. p. 161). (Italique indiquée par moi).

seront, pour elle, des mouvements ; la scolastique les aurait nommés mouvements d'altération.

« L'examen de tels mouvements n'emplira pas encore tout le domaine que la mécanique nouvelle prétend soumettre à ses lois ; elle entend aussi traiter des changements où un ensemble de substances disparaît pour laisser apparaître un autre ensemble de substances, de ces changements que les péripatéticiens auraient considérés comme des *corruptions* et des *générations* et que nous nommons aujourd'hui des *réactions chimiques*. La mécanique nouvelle ne se contente pas d'être une *mécanique physique*, elle est encore une *mécanique chimique*.

« L'extension prise par l'idée de mouvement nécessite une égale extension de son contraire, l'idée d'équilibre..., aussi parlera-t-on non seulement de l'équilibre de configuration, mais encore des équilibres thermique, électrique, magnétique, chimique ¹ ».

2. — Comment se développe cette mécanique dont Duhem vient de préciser l'objet et de délimiter le champ ? Ce développement a été esquissé à plusieurs reprises, dans le *Traité élémentaire de mécanique chimique*, dans *Thermodynamique et chimie*, mais nulle part il n'est aussi rigoureusement poursuivi que dans le *Commentaire aux principes de la Thermodynamique*.

Si l'on ouvre un traité de mécanique classique, on voit dans les premières pages un appel à quelques expériences très simples. Ici rien de pareil. Certaines expositions élémentaires, notamment celle donnée dans la *Revue générale des Sciences*, semblent bien, il est vrai, partir de l'expérience. Mais, outre qu'elles ne sont pas définitives, qu'elles ne présentent pas la forme arrêtée que l'auteur semble vouloir atteindre, quand il cherche une présentation purement scientifique, il est manifeste que l'observation et l'expérience servent toujours à élucider certaines notions, à fournir une physionomie plutôt grossière et vague de la théorie, et qu'elles seront dépassées, transformées quand il s'agira

¹ 1. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (*Revue générale des Sciences*, 1903. p. 306).

de la développer pleinement. On retrouvera bien alors les résultats de l'expérience — que serait une théorie sans cela ? Mais la théorie en elle-même s'établit d'une manière autonome, et, pour ainsi dire, dans une autre sphère : dans une sphère toute formelle, *more geometrico*. Après son achèvement, et seulement *après*, interviendra une confrontation avec l'expérience. C'est là que se montre l'originalité de Duhem.

Tout d'abord sont posées *certaines conventions* et *certaines définitions* qui constituent les principes fondamentaux de la mécanique nouvelle, et les axiomes nécessaires à son développement.

Les conventions fixent les conditions générales auxquelles seront *nécessairement* soumises toutes les propositions énoncées dans la suite. Elles dessinent le cadre rigide qui limitera d'une façon absolue le domaine de la mécanique. Ces limites ne pourront être franchies en aucun cas.

Les postulats nécessaires au développement de la théorie sont au fond de même nature que les définitions préliminaires ; ce ne sont ni des transcriptions, ni même des suggestions de l'expérience. Ils ne sont pas présentés non plus comme les procédés les plus commodes que nous ayons à notre disposition pour organiser nos connaissances. Ils consistent en des propositions qu'il est loisible d'énoncer comme il plaît, « pourvu qu'il n'y ait contradiction ni entre les termes d'une même proposition, ni entre deux propositions distinctes ». Mais une fois ces postulats posés, comme pour les conventions préliminaires, la théorie est tenue de les garder avec une jalouse rigueur. Ils lui donnent, eux aussi, une texture rigide et invariable. Les postulats ne diffèrent des définitions préliminaires que par la place qu'ils tiennent dans la théorie et l'utilisation qui en est faite. Ce sont eux qui dessinent le chemin suivi par la théorie, qui déterminent les dispositions de son contenu, tandis que les définitions traçaient seulement le contour de son domaine.

Ceci posé, les conventions préliminaires sur lesquelles il fait reposer la thermodynamique sont, pour lui, le fon-

dement de la mécanique générale et par là commandent à tout le champ de la physique. Elles sont énoncées avec une négligence absolue de toute intuition expérimentale. Les voici :

« *Du mouvement absolu.*

« L'expérience nous permet de constater si deux parties de la matière se sont déplacées l'une par rapport à l'autre, en sorte que la notion de *mouvement relatif* est une *notion expérimentale*, c'est de cette notion que traite la cinématique.

« Mais cette notion est *insuffisante* pour l'objet que nous nous proposons de traiter. Les hypothèses que nous aurons à énoncer, les lois que nous aurons à formuler ne feront pas intervenir seulement les mouvements relatifs des différentes parties de la matière les unes par rapport aux autres. Elles feront intervenir les mouvements des différentes parties de la matière par rapport à un certain trièdre de référence *idéal*, que l'on suppose tracé quelque part. Il arrivera souvent que des propositions qui concernent les mouvements relatifs à ce trièdre de référence particulier et que nous regardons comme exactes, deviendraient manifestement fausses si l'on y supposait les mouvements rapportés à un autre trièdre de référence, animé par rapport au premier d'un mouvement quelconque ; nous donnerons à ce trièdre particulier auquel seront rapportés tous les mouvements dont nous parlerons le nom de trièdre absolument fixe ; les axes de ce trièdre seront les axes absolument fixes ; un mouvement rapporté à ce trièdre particulier prendra le nom de mouvement absolu ¹.

« *Des corps et des mélanges ou combinaisons.* — Nous appellerons *corps* un espace linéairement connexe rempli, d'une *manière continue*, par une certaine partie de la matière. Nous ne discuterons pas la question de savoir si les corps sont réellement continus, ou formés de parties discontinues très petites séparées par des intervalles vides également très petits.

1. DUHEM, Commentaire aux principes de la Thermodynamique, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 1892, p. 271.

« En physique, il nous est à la fois impossible et inutile de connaître la *constitution réelle* de la matière. Nous cherchons simplement à *concevoir un système abstrait* qui nous fournisse une image des propriétés des corps. Pour construire ce système, nous sommes *libres* de représenter un corps qui semble continu, soit par une distribution continue de matière dans un certain espace, soit par un ensemble discontinu d'atomes très petits. *Le premier mode de représentation conduisant, dans toutes les parties de la physique, à des théories plus simples, plus claires et plus élégantes, nous l'adopterons de préférence au second.*

« Considérons deux corps A, B, qui, à un certain instant t , occupent des espaces a , b , n'ayant aucune partie commune ; ces deux corps ne sont pas toujours et forcément distincts ; les parties de la matière qui les forment peuvent à un instant t' distinct de t , antérieur ou postérieur à t , fournir un corps unique C, occupant l'espace c ; cela de telle façon que tout élément dw de l'espace c renferme, à l'instant t' , une partie de la matière qui, à l'instant t , forme le corps A, et une partie de la matière qui, à l'instant t , forme le corps B, la première partie occupant, à l'instant t , un certain élément de volume dv , de l'espace a ; la seconde partie occupant à l'instant t , un certain élément de volume dv' , de l'espace b .

« Dans le cas dont nous venons de parler, on dit que le corps C résulte soit du mélange, soit de la combinaison des deux corps A et B.

« Beaucoup de physiciens se refusent à admettre la possibilité de la combinaison ou du mélange tels que nous venons de le définir. Ils regardent comme impossible cette pénétration intime par laquelle la matière qui remplit chaque élément de volume du corps continu C provient de l'union entre la matière que renfermait un élément de volume du corps continu A, et la matière que renfermait un élément de volume du corps continu B. C'est cette impossibilité qu'ils nomment *l'impénétrabilité de la matière*.

« Pour ces physiciens les mots *mélange, combinaison*, ne représentent que des apparences. Lorsque nous croyons

voir les deux corps A et B s'unir pour former un nouveau corps C, les parties α extrêmement petites dont l'ensemble discontinu constitue chacun de ces deux corps demeurent en réalité distinctes ; les petites parties du corps A s'interposent simplement aux petites parties du corps B sans que l'espace occupé par l'une des parties du corps A ait aucun domaine commun avec l'espace occupé par l'une des parties du corps B.

« Des raisons analogues à celles qui nous ont fait regarder comme continue la matière qui forme un corps nous conduisent à repousser cette manière de concevoir le mélange ou la combinaison et à adopter la définition que nous avons donnée tout à l'heure¹. »

La troisième convention consistera à considérer l'existence de corps *isolés* dans l'espace : « Cette conception du corps isolé dans un espace illimité et absolument vide est une pure abstraction. Jamais l'expérience ne nous offre un corps qui ne soit de toutes parts contigu à d'autres corps, et la physique nous conduit à admettre que, lors même que nous parviendrions à en lever tous les corps solides, liquides ou gazeux que nous pouvons saisir directement ou indirectement, de manière à faire le *vide physique* dans l'espace qui environne un certain corps, cet espace serait encore rempli par une certaine matière que l'on nomme *éther*². »

L'état d'un corps « sera défini par un certain nombre de variables : ces variables désignent non seulement la forme et la position des diverses parties du système, mais encore toute espèce de qualités et de propriétés de ce système... Nous *admettrons* que l'on peut toujours choisir les variables... de telle sorte que la quantité » qui représente la température « soit constamment nulle. Nous dirons alors que le système des variables... constitue un système de variables normales³ ».

Les grandeurs désignées par ces variables seront par

1. DUHEM, Commentaire aux principes de la Thermodynamique (*Journal des Mathématiques pures et appliquées*, 1892, p. 272, 273).

2. *Id.*, 274.

3. DUHEM, *Traité élémentaire de mécanique chimique*, 29).

définition, et par *définition seulement*, indépendantes ou dépendantes, selon que leur définition n'impliquera pas ou impliquera quelque relation entre leurs valeurs : « Lorsque nous parlons de dépendance entre diverses grandeurs, nous n'entendons jamais parler que d'une dépendance résultant de la définition des grandeurs et non pas d'une dépendance résultant d'une loi physique ; en sorte que les grandeurs, *logiquement* indépendantes, peuvent ne pas être *physiquement* indépendantes ¹. »

De ces grandeurs, celles qui astreignent le système à avoir la même valeur, à tout instant, pris isolément, définissent sa *nature*. Les autres, variables selon l'instant, définissent son *état*.

« Considérons les grandeurs indépendantes qui suffisent à représenter complètement les propriétés d'un système à l'instant isolé t . Les unes, $A, B, \dots L$, définissent la nature du système ; les autres, $\alpha, \beta, \dots \lambda$, définissent son état. Si l'on conserve aux quantités $A, B, \dots L$ leurs valeurs, et si l'on donne aux variables $\alpha, \beta, \dots \lambda$, d'autres valeurs $\alpha', \beta', \dots \lambda'$ on aura la représentation d'un autre état du même système.

« Imaginons ainsi une suite continue d'états différents du système, c'est-à-dire une suite continue de groupes de valeur des quantités $\alpha, \beta, \dots \lambda$. Fixons successivement notre attention sur ces divers états dans l'ordre qui permet de passer d'une manière continue de l'un à l'autre. Pour désigner *cette opération toute intellectuelle*, nous dirons que nous imposons au système une *modification virtuelle* ². »

Toute modification réalisable correspond à une modification virtuelle, mais *la réciproque n'est pas vraie*.

« Le mot *mouvement* ne prend de sens pour un système qu'autant qu'on envisage ce système pendant un certain laps de temps, si court soit-il... Nous dirons que le *mouvement* du système, à l'instant t est défini si l'on connaît non seulement l'état du système, mais encore la grandeur et la

1. DUHEM, Commentaire aux principes de la Thermodynamique (*Journal des Mathématiques pures et appliquées*, 1892, p. 276).

2. *Id.*, p. 276.

direction de la vitesse dont est animée la matière remplissant chacun des éléments de volume du système¹ ».

Les variables α , β ,... λ , se subdivisent ensuite en deux groupes : celles qui ne peuvent plus varier par rapport au temps, le système matériel étant immobile dans l'espace, tandis que les autres peuvent encore varier : le corps *est dit* alors en *repos*. Il serait dit en *équilibre* si aucune des variables ne subissait de variation. On voit que l'expression : état d'équilibre a un sens bien plus complet que celle d'état de repos, seul considéré par l'ancienne mécanique.

Si, à la fin de la modification les variables ont repris leur valeur initiale, le système a parcouru par *définition* un *cycle fermé*.

« Parmi les variables servant à définir l'état d'un système, il en est une dont le rôle (dans le système ici exposé) aura une importance toute particulière ; cette variable c'est la température ». Allons-nous avoir ici un appel à l'expérience ? Il semble inévitable. Duhem pourtant trouve le moyen de rester dans son formalisme. Cette propriété des corps « que nous caractérisons par les mots : être chaud, être froid, être plus ou moins chaud, *notre faculté d'abstraction* ne tarde pas à lui attribuer des caractères *que la sensation ne nous marque pas* ». On transforme ainsi cette intuition sensible dans le *concept quantitatif* de température.

Ceci fait, « nous admettons comme exacte la loi suivante : Pour qu'un système isolé soit en équilibre, il est nécessaire que toute les parties matérielles qui composent ce système soient également chaudes² ».

Cette proposition, *ici toute conventionnelle*, justifie la place privilégiée de la variable température.

Elle devient le critérium nécessaire de l'équilibre, c'est-à-dire l'échelle à laquelle se pourront référer toutes les variations des variables.

3. — Le lecteur a été certainement frappé par toutes les expressions comme : *nous choisirons...*, *nous admettrons comme exacte...*, *nous conviendrons de...*, etc. Il a surtout

1. *Id.*, p. 277.

2. *Id.*, p. 285.

remarqué que pour jeter les bases des sciences qui s'occupent des transformations concrètes de la nature, à aucun moment il n'a été question de considérer la réalité.

Si nous continuions l'examen de l'œuvre scientifique de Duhem, nous verrions que la définition de l'énergie, du travail, de la quantité de chaleur, la notion de modification réversible, sont présentées comme autant de conventions posées arbitrairement par l'esprit. Les postulats de la thermodynamique, le principe de la conservation de l'énergie, et le principe de Carnot sont introduits comme se déduisant analytiquement de ces conventions générales, et d'autres conventions plus spéciales. Enfin ces postulats et ces définitions servent directement à formuler les équations de la mécanique générale, que Duhem présente tout entière comme une conséquence de la thermodynamique. Ces équations vont se compliquant au fur et à mesure qu'elles doivent servir à repérer des propriétés nouvelles. Mais *jamais* — et il faut insister là-dessus, c'est le fonds même de sa conception scientifique — jamais les expressions mathématiques qu'il propose, en complétant peu à peu son œuvre, ne sont présentées comme mettant en jeu des quantités réelles tirées de la nature des choses, comme des nécessités imposées par la structure de l'objet. C'est toujours un simple développement analytique qui repose sur des raisons de calcul, et n'a d'autre rapport avec les phénomènes que la possibilité *ultérieure* de les repérer avec plus d'exactitude. Ce sont des cadres de grandeurs différentes qu'un peintre tient en réserve, pour les tableaux qu'il peindra ensuite.

4. — a) Une impression se dégage donc d'abord de la physique théorique que propose Duhem. Elle est toute formelle ; elle ne s'inquiète nullement du contenu réel qui entre dans ses relations, des propriétés objectives évaluées par ses quantités.

Ceci est bien curieux. C'est pour mettre la théorie d'accord avec la réalité concrète que Duhem réforme la mécanique. Et en parcourant sa mécanique nouvelle, l'expérience n'y est jamais mentionnée. Même dans les exposés

les plus formels de la mécanique rationnelle classique — et on sait que dans ces derniers temps presque tous les exposés (français et allemands du moins) ont été aussi formels que possible — il y avait toujours un appel à l'intuition expérimentale pour poser les principes fondamentaux. Or, voilà qu'un savant trouve que cette mécanique ne s'accorde pas avec la généralité des faits, demeure trop loin des réalités physico-chimiques. Il propose à sa place un système où, de parti pris, nous ne rencontrons plus aucun appel à l'expérience, si ce n'est lorsque la théorie est achevée *complètement*. Si bien que la réalité a l'air de se déduire de ses formules, et non pas ses formules de la réalité.

Le chemin suivi dépend uniquement de la convention, et la convention, du choix du savant. Rien ne limite cet arbitraire. La physique théorique serait condamnée à une faillite certaine, si des préoccupations réelles intervenaient dans l'élaboration de la théorie. Bien entendu, l'arbitraire doit être rationnel. Donner libre champ à l'hypothèse ne signifie pas laisser la porte ouverte à l'absurdité et à la contradiction. Bâtir une théorie serait alors une œuvre inutile. Non, la théorie rendra les services que le physicien est en droit d'en attendre, à cette condition absolue : son point de départ clairement déterminé, elle se déroulera avec une inflexible logique. Seulement le point de départ dépend de conventions, arbitrairement choisies, pourvu qu'elles soient respectées jusqu'au bout. Et entre ce point de départ et ce point d'arrivée tous les chemins seront bons, pourvu que sans coups de pousse, ou sans hiatus, le calcul se développe conformément aux règles de la mathématique.

La théorie scientifique chez Duhem, est, comme il le dit avec complaisance, un schème algébrique. La science théorique est un mathématisme. Et par là il rejoindrait Descartes ou Leibniz, fondateurs de ce mécanisme qu'il combat cependant sur tous les points, puisqu'ils avaient l'ambition d'une mathématique universelle à laquelle se réduiraient toutes les lois du monde matériel. Mais l'arbitraire qui préside au mathématisme de Duhem montre facilement que

l'analogie n'est que dans la forme et que nous sommes loin du dogmatisme rationnel de ces philosophes.

« Au cours de son développement une théorie physique est libre de choisir la voie qui lui plaît, pourvu qu'elle évite toute contradiction logique ; en particulier elle n'a à tenir aucun compte des faits de l'expérience. Lors donc qu'au cours des déductions par lesquelles la théorie se déroule, on soumet à des opérations algébriques et à des calculs les grandeurs sur lesquelles porte la théorie, on n'a pas à se demander si ces opérations, si ces calculs ont un sens physique ; pour parler plus explicitement on n'a pas à se demander si l'emploi des procédés de mesure permettrait de les traduire en langage concret, et si, ainsi traduits, ils correspondraient à ces faits réels ou possibles. Se poser une semblable question serait concevoir une notion tout à fait erronée de la structure d'une théorie physique.

« Nous touchons ici à un principe si essentiel et, en même temps, si délié à percevoir qu'on nous permettra d'insister et d'expliquer notre pensée par un exemple.

« M. J. Willard Gibbs a étudié théoriquement la dissociation d'un composé gazeux parfait en ses éléments, regardés également comme des gaz parfaits. Une formule a été obtenue, qui exprime la loi de l'équilibre chimique au sein d'un tel système. Je me propose de discuter cette formule. Dans ce but, laissant invariable la pression que supporte le mélange gazeux, je considère la température absolue qui figure dans la formule et je la fais varier de 0 à $-\infty$.

« Si, à cette opération mathématique, on veut attribuer un sens physique, on verra se dresser en foule les objections et les difficultés. Aucun thermomètre ne peut faire connaître les températures inférieures à une certaine limite, aucun ne peut déterminer les températures suffisamment élevées ; ce symbole que nous nommons température absolue ne peut, par les procédés de mesure dont nous disposons, être traduit en quelque chose qui ait un sens concret, à moins que sa valeur numérique ne demeure comprise entre un certain minimum et un certain maxi-

mum. D'ailleurs, aux températures suffisamment basses, ce symbole que la thermodynamique nomme un *gaz parfait* n'est plus l'image, même approchée, d'aucun gaz réel.

« Ces difficultés et bien d'autres qu'il serait trop long d'énumérer, s'évanouissent si l'on prend garde aux remarques que nous avons formulées. Dans la construction de la théorie, la discussion dont nous venons de parler n'est qu'un intermédiaire ; il n'est point juste de lui chercher un sens physique ¹.

« Formalisme mathématique », voilà, semble-t-il, l'expression qui convient bien à caractériser la conception de Duhem.

4. — *b)* Mais il ne faudrait pas croire que ce formalisme mathématique qui se construit sans appel à l'observation des phénomènes naturels n'ira pas rejoindre ces phénomènes. Duhem veut construire un système plus adéquat que celui qu'il a critiqué. Au terme donc, notre jeu de formules nous donnera les moyens de prévoir des transformations réelles physiques ou chimiques. Les résultats devront coïncider avec la réalité. Le formalisme mathématique est un moyen et non un but : « c'est un principe que l'on ne doit jamais perdre de vue si l'on veut éviter les abus de la physique mathématique ² ».

« Lorsque l'édifice est parvenu au faite, il devient nécessaire de comparer à l'ensemble des faits d'expérience l'ensemble des propositions obtenues comme conclusions de ces longues déductions ; il faut s'assurer, moyennant l'emploi des procédés de mesure adaptés, que le premier ensemble trouve dans le second une image suffisamment ressemblante, un symbole suffisamment précis et complet. *Si cet accord entre les conclusions de la théorie et les faits d'expérience ne se manifeste pas avec une approximation satisfaisante, la théorie pourrait bien être logiquement construite, elle n'en devrait pas moins être rejetée parce qu'elle*

1. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (Revue générale des Sciences, 1903, p. 304).

2. DUHEM, *Revue des questions scientifiques*, 1892, p. 173.

serait contredite par l'observation, parce qu'elle serait physiquement fausse. Le domaine de la théorie a pour objet d'offrir une description symbolique, un schéma aussi étendu, aussi complet et aussi détaillé que possible, du domaine *des faits d'expérience*. Pour que la théorie ne soit pas un langage dénué de sens, un pur jeu de formules, il faut qu'une clé fasse correspondre le symbole à la réalité, le signe à la chose signifiée ; *il faut que l'on puisse traduire les formules théoriques en faits d'expérience*. L'étude de cette clé ressortit au troisième domaine dont la connaissance s'impose au physicien, au domaine des instruments et des procédés de mesure¹. »

La théorie physique mérite bien le nom caractéristique que nous lui avons donné, car en elle-même, elle est purement formelle ; elle doit rester, comme théorie, un jeu abstrait d'expressions mathématiques. Mais au terme ce jeu prend un sens grâce à un ensemble de mesures, qui permettent de repérer la réalité ; il faut alors que nos formules nous donnent des résultats coïncidant aussi complètement que possible avec ce repérage réel.

5. — Alors, pourquoi doubler d'une théorie l'ensemble des recherches expérimentales ? N'est-elle pas une superfétation inutile, une stérile dépense des efforts du savant ? Nous savons déjà que tel n'est pas l'avis de Duhem. Le moment est venu de voir comment il motive cet avis, et de retracer — toujours à sa suite — son système épistémologique, sa logique des sciences physico-chimiques.

Il distingue les sciences en deux groupes, celles où l'observation pure et simple est possible (biologie) et celles où l'expérience est toujours interprétation abstraite et symbolique et n'a de sens qu'à travers une théorie. Les sciences physiques font partie de ces dernières : les résultats de l'observation sensible n'y peuvent être énoncés, qu'on le veuille ou non, qu'à travers un artifice théorique ; c'est d'ailleurs le sort de toute science quelque peu avancée. « Au fur et à mesure qu'une science progresse, qu'elle s'éloigne de la

1. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (*Revue générale des Sciences*, 1903, p. 304).

simple connaissance empirique, de la constatation des lois les plus grossières, le rôle joué par la théorie dans l'interprétation des faits d'expérience va grandissant : lorsqu'une science commence, lorsqu'elle n'est en quelque sorte que le sens commun rendu plus attentif, la relation des faits d'expérience qu'elle constate est un décalque exact de la réalité observée ; la physiologie dans plusieurs de ses parties nous offre l'image d'une science à cet état ; puis, au fur et à mesure qu'elle progresse, l'épaisseur des considérations théoriques qui sépare le fait concret, réellement constaté par l'observateur, et la traduction abstraite, symbolique qu'il en donne, devient plus considérable ; prenez par exemple la chimie dans son état actuel ; prenez en particulier celle de ses branches dont le développement est le plus parfait, la chimie des composés du carbone, la chimie organique. Quelle différence entre un fait d'expérience et l'interprétation théorique, la traduction symbolique qu'en donne le chimiste ! Mesurez la distance qui sépare cet énoncé : l'expérience nous apprend qu'en substituant à un H de la benzine le gaz rouge acide $\text{CO} - \text{OH}$ on obtient de l'acide benzoïque, des observations concrètes réellement faites, qu'il représente, et vous comprendrez que plus une science progresse, plus la traduction symbolique qu'elle substitue aux faits d'expérience est abstraite et éloignée des faits ¹ ».

Les sciences physico-chimiques ne peuvent donc exister qu'à condition d'être toujours « traduction symbolique » ; c'est pourquoi leurs théories sont un formalisme mathématique.

6. — En résumé, pour construire la physique théorique, on commence par faire correspondre une grandeur à chaque notion physique, afin de la mesurer, ou plus exactement de la repérer. Les variations de cette grandeur devront correspondre à chaque instant aux modifications observées dans l'intensité de la propriété qu'elle représente : on formulera donc (comme on l'a vu dans l'exposé des conditions

1. DUHEM, *La physique expérimentale* (Revue des questions scientifiques, juillet 1894. p. 187).

de la thermodynamique) les définitions nécessaires pour établir cette correspondance continue entre la variable et la propriété physique dont elle est le symbole. Ces définitions sont essentiellement arbitraires. Il suffit qu'elles rendent le service qu'on leur demande, aussi exactement que possible. Entre les diverses notions ainsi définies, on établit un certain nombre de relations exprimées par des propositions mathématiques. Ces relations sont les *hypothèses*, *principes*, ou *postulats*, dont la théorie tout entière ne fera que développer les conséquences.

Voici l'ossature formelle de la théorie. Mais Duhem veut établir la physique théorique. Il croit qu'une physique théorique peut être présentée de préférence à d'autres, (par exemple, de préférence au mécanisme classique). Il admet donc qu'entre plusieurs systèmes de conventions, il en est un qui doit l'emporter sur tous les autres.

Il y a en effet des raisons d'opter qui ne permettent pas l'hésitation et suppriment en fait tout arbitraire : il faut d'abord que l'hypothèse soit logiquement cohérente. Le principe de contradiction est une limite qui s'impose à toute théorie : une fois les conventions adoptées, les conséquences doivent s'en déduire avec une inflexible logique sans le « coup de pouce » cher à tous ceux qui font de la physique mathématique. — Ensuite le nombre des conventions doit être le plus petit possible. La simplicité d'une hypothèse est un motif qui la fera choisir. C'est une des raisons pour lesquelles Duhem se déclare partisan de la statique de Gibbs et de la dynamique de Helmholtz qui ne font intervenir ni masses cachées, ni liaisons fictives. — Toute théorie renfermera des lacunes : il n'y a pas de théorie parfaite. Mais ces lacunes devront, elles aussi, être réduites au minimum. — L'étendue de l'hypothèse, sa facilité à fournir des cadres généraux pour l'étude d'un nombre toujours croissant de faits, sans qu'elle soit obligée de modifier ses principes, voilà encore une raison qui doit limiter l'arbitraire du physicien. — Enfin la correspondance aussi étroite que possible entre les conséquences de l'hypothèse et les faits de l'expérience est une

condition *sine qua non* de l'admission des conventions proposées.

L'hypothèse parfaite serait celle qui serait une simple traduction en langage mathématique, des lois physiques dont on veut représenter l'ensemble, à condition que cette traduction forme un tout logique absolument cohérent. Aucune théorie physique ne réalise pleinement cet idéal. Et les théories que l'on a bâties présentent tous les degrés entre les mauvaises hypothèses et l'hypothèse idéale, sans jamais se confondre avec cette dernière : « On peut mettre en fait que quelque vaste et sûre que soit une théorie physique, lorsqu'on la pousse suffisamment loin, elle aboutit toujours à des conséquences contraires à l'expérience. » La valeur des théories reste donc dans une certaine mesure *relative* ; mais on peut discuter de la valeur d'une théorie, de son degré d'objectivité, tandis que dans la critique empiriste pure on les proscriit absolument toutes comme sans contact avec la réalité, et que dans la critique néo-idéaliste, on les admet également toutes, comme subjectives, ce qui ressemble beaucoup en fin de compte à l'empirisme pur. Duhem au contraire admet en même temps que la nécessité de l'hypothèse, des critères de validité et une échelle de valeurs.

La théorie physique n'est donc pas œuvre indifférente, ou négligeable : elle répond à un besoin et doit satisfaire à des conditions données : « La théorie physique est une construction symbolique de l'esprit humain destinée à donner une *représentation, une synthèse aussi complète, aussi simple et aussi logique que possible des lois que l'expérience a découvertes*... Lorsqu'un grand nombre de ces conséquences théoriques représentent d'une manière très approchée un grand nombre de lois expérimentales, la théorie est bonne ¹. »

7. — L'œuvre originale de Duhem a été de montrer dans la réforme nouvelle l'utilité et la part nécessaire de la théorie physique, en même temps que son autonomie relative,

1. DUHEM, *Les théories électriques de Maxwell* (Revue des questions scientifiques du 20 janvier 1901).

par rapport aux résultats purement expérimentaux. Une physique, science expérimentale, s'accompagne toujours d'une physique théorique, et toutes deux se développent d'une façon harmonieuse et parallèle. L'œuvre originale de Duhem a surtout été d'analyser les conditions logiques de cette physique théorique, de démonter rouage par rouage ses articulations, de décrire sa structure, d'en assigner la valeur et la portée. Rankine avait indiqué la direction générale de la réforme : il avait montré le chemin, en jetant le projet d'une méthode qui viserait, toute hypothèse écartée, à représenter le résultat de l'expérience, sans plus. Mach et Ostwald ont insisté sur la possibilité de cette pure représentation de l'expérience, en montrant avec soin, et jusque dans les détails les plus précis, les bases expérimentales, le développement expérimental de la science physique. Ils n'ont envisagé la théorie que dans ses attaches avec l'expérience, et pour affirmer qu'elle ne devait point la dépasser ou l'altérer. Restait à prendre pour objet spécial de l'étude méthodologique la théorie physique telle que la réforme nouvelle semblait l'imposer, et à analyser le travail d'organisation et de généralisation que la théorie superpose à l'expérience. C'est la tâche que s'est proposée Duhem.

En reprenant de très près le problème de la physique, il a cru pouvoir affirmer qu'il était impossible dans l'état actuel de la science de prétendre à une théorie, pur décalque de l'expérience. La théorie admet l'hypothèse, l'arbitraire, la prolongation de l'expérience, non en imaginant, comme le mécanisme, une structure de l'univers capable de rendre compte des aspects variés de la nature, mais en construisant un système conceptuel qui permette de repérer déductivement tous ces aspects. Duhem reste donc bien dans le courant réformateur envisagé jusqu'ici. La théorie physique sera conceptuelle, formelle ; elle se composera de formules abstraites, symboles quantitatifs, traductions mathématiques, de qualités sensibles. Elle ne représentera pas, d'une façon matérielle et sensible, des éléments, à la combinaison desquels se réduiraient purement et simplement ces qualités.

8. — Mais ne sort-il point du courant d'idées suivi par Rankine, Mach et Ostwald, lorsqu'il parle d'additions nécessaires à l'expérience ? de principes arbitraires, d'hypothèses d'après lesquels l'esprit chercherait à l'organiser et aussi à la dépasser ?

Avec Mach déjà, il pouvait sembler qu'une première dérogation était faite aux principes posés par Rankine, lorsqu'intervenait l'idée de l'économie de la pensée ; mais cette dérogation n'était qu'apparente. Ce principe n'enlevait rien, n'ajoutait rien à l'expérience, si on l'interprétait au sens véritable que lui donne indubitablement son créateur.

Avec Duhem, il n'en va pas autrement : non seulement parce que les conclusions de la théorie doivent coïncider avec les résultats de l'expérience, — sans quoi tout le développement de la théorie resterait arbitraire — mais parce que le développement de la théorie tout entier, depuis ses principes jusqu'à ses conséquences, en passant par toutes ses articulations, doit, au terme, être une représentation fidèle de l'expérience. La théorie deviendra, une fois achevée, *une classification naturelle* des phénomènes physiques.

Duhem regarde « la théorie physique qui représenterait toutes les lois expérimentales au moyen d'un système unique, logiquement coordonné, comme la théorie idéale¹ ». Et il croit, en énonçant cette proposition, exprimer l'avis de tous les physiciens. « Or, est-il juste de regarder cet idéal comme une utopie ? C'est à l'histoire de la physique de répondre à cette question... La diversité se fondant dans une unité toujours plus compréhensive, toujours plus parfaite, tel est le grand fait qui résume toute l'histoire des doctrines physiques... Le physicien trouve donc en lui-même une irrésistible aspiration vers une théorie physique qui représenterait toutes les lois expérimentales au moyen d'un système d'une parfaite unité logique... S'il veut n'être que physicien ; si, positiviste intransigeant, il tient pour

1. DUHEM, *Physique de croyant* (Annales de philosophie chrétienne, novembre 1905, p. 138).

inconnaissable tout ce qui ne peut être déterminé par la méthode propre aux sciences positives, il constatera cette tendance qui sollicite si puissamment ses propres recherches, après avoir orienté celles de tous les temps^{1...} »

Ce n'est pas seulement l'histoire de la physique qui dirige Duhem vers cette conclusion, c'est encore cette considération que « bien souvent, d'une théorie physique, on peut déduire un énoncé qui représente non pas une loi observée, mais une loi observable² », et qui est vérifiée par une observation postérieure. Si, à un point de vue logique, la théorie physique n'est qu'un système créé par un libre décret de notre entendement, au point de vue concret de la pratique scientifique, notre physicien attend, escompte la prescience de la théorie et par suite sa valeur objective ; il regarde l'accord de l'expérience et des conséquences logiques de cette théorie, fondée pourtant sur l'arbitraire, plus probable qu'un démenti. Cet accord lui paraît d'autant plus probable que la structure logique de la théorie est plus parfaite. Qu'est-ce à dire, sinon qu'au terme, et déjà d'une façon incomplète et confuse, le logique et le rationnel d'une part, l'intuition et l'expérience d'autre part, s'impliquent nécessairement ? Qu'est-ce à dire, sinon qu'on peut bien dans une analyse abstraite, et en stricte logique, en droit, séparer la théorie de l'expérience, mais qu'en fait, dans la pratique scientifique, dans la recherche concrète, elles sont indivises et inséparables ? Et nous voilà revenus au point de vue de Mach, au point de vue de Rankine : une expérience qui contient en puissance la théorie rationnelle, une théorie rationnelle qui actualise l'expérience : un développement parallèle du rationnel et de l'empirique, une implication réciproque qui défie même souvent les forces de l'analyse logique. La réforme énergétique de la physique semble dominée par ce postulat, ou plutôt par cette constatation nécessaire. « Tout donc presse le physicien de poser cette affirmation : Au fur et à mesure qu'elle

1. *Id.* p. 138, 139, 140.

2. *Id.* p. 141.

progresse, la théorie physique devient plus semblable à une classification naturelle, qui est son idéal et sa fin¹. »

IV. — CONCLUSIONS

1. Le formalisme de Duhem, même lorsqu'il affirme que l'empirisme absolu est une utopie, et que la moindre observation comporte un appel plus ou moins déguisé à de multiples théories, n'a rien qui soit contradictoire avec l'empirisme fondamental de la réforme physique dont il se présente comme l'héritier, mais comme un héritier qui fait valoir et élargit son héritage. La physique de Duhem reste tout entière fondée sur l'expérience. Elle se présente tout aussi bien qu'avec Mach et Rankine, et tous les énergétistes ou les conceptuels, comme un « expérimentalisme ». Cette expression, peut-être barbare, a l'avantage de bien exprimer que la science physique n'est pas un empirisme grossier, mais une actualisation rationnelle de l'expérience, une expérience logique.

Cette constatation a d'autant plus de poids que Duhem à côté de ses idées sur la science physique a des idées métaphysiques qu'il aime à développer avec netteté. Tandis que Rankine, Mach, Ostwald veulent surtout faire œuvre de savants, et repousseraient la qualité de philosophe². Duhem accepte cette idée que la science n'est qu'un savoir partiel et qu'à côté de la phénoménologie, à quoi elle est limitée, il y a place pour une métaphysique. Il insiste sur la positivité de la physique telle qu'il l'entend, pour laisser le champ libre à une philosophie des sciences qui finit par une métaphysique. A côté du phénomène, le noumène, à côté du monde des apparences, que nous révèle la science, le monde des réalités, où la foi et la croyance peuvent se développer sans obstacle, puisqu'il y a entre la science et lui une cloison étanche. Ces deux mondes peuvent s'accorder ; ils ne peuvent pas se mêler, empiéter réciproquement sur leurs domaines respectifs, encore bien moins s'identi-

1. *Id.*, p. 143.

2. MACH, explicitement en réponse à un article intitulé « la philosophie de MACH ».

fier. Pour Duhem croyant, bien conscient de ses croyances le monde des réalités n'est pas un inconnaissable, vis-à-vis de l'univers décrit par la science. Mais il est connaissable d'une autre façon, justiciable d'autres méthodes, bien que ce genre de connaissance et ces méthodes doivent partir des résultats de la science — qu'ils ne peuvent ignorer — et procéder par analogie avec la science.

2. — D'ailleurs, il ne croit, il ne veut nullement abaisser par là l'ordre de certitude de la science. La certitude de la science n'est pas apparente, elle est partielle : la science ne nous donne pas *toutes* les certitudes dont notre nature est susceptible, mais elle nous donne des certitudes qui sont du même ordre que n'importe quelles certitudes. La classification naturelle, à laquelle elle tend, sera une classification réelle des objets réels, mais elle ne sera qu'une classification, et non une explication suffisante. La valeur objective de la science et de l'expérience est sauvegardée dans les mêmes termes qu'elle est sauvegardée par Mach, Ostwald ou Rankine. Duhem à aucun degré n'est agnostique ; il croit en la réalité objective de l'expérience ; mais à côté des éléments réels fournis par l'expérience, il croit à l'existence d'autres réalités.

Ses expressions sont peut-être quelquefois ambiguës :

« Esclave de la méthode positive, le physicien est semblable au prisonnier de la caverne ; les moyens de connaître dont il dispose ne lui laissent rien voir, si ce n'est une suite d'ombres qui se profilent sur la paroi opposée à son regard, mais il devine que cette théorie de silhouettes dont les couleurs s'estompent devant les yeux n'est que le simulacre d'une suite de figures solides ; et, de ces figures invisibles, il affirme l'existence par delà le mur qu'il ne peut franchir.

« Ainsi, le physicien affirme que l'ordre dans lequel il range les symboles mathématiques pour constituer la théorie physique est un reflet de plus en plus net d'un ordre ontologique suivant lequel se classent les choses inanimées. Quelle est la nature de cet ordre dont il affirme l'existence ? Par quelle sorte d'affinité les essences des objets qui

tombent sous ses sens se rapprochent-elles les unes des autres ? Ce sont questions auxquelles il ne lui est point permis de répondre ¹. »

Mais il n'y a pas de doute, si l'on approfondit sa pensée et si l'on en cherche l'unité, qu'il n'attribue à l'expérience une objectivité indiscutable. L'expérience pure, débarrassée avec soin des additions théoriques, qui peuvent l'altérer dans l'état actuel de la connaissance scientifique, *s'impose nécessairement* à l'acceptation du métaphysicien :

« Et d'abord afin d'éviter tout malentendu, faisons une remarque. Cette question : Le métaphysicien a-t-il ou « n'a-t-il pas à tenir compte des dires du physicien ? » ne se pose absolument qu'au sujet des théories de la physique. Au sujet des faits d'expérience, au sujet des lois expérimentales, la question n'a pas été posée, car la réponse ne saurait être douteuse : il est clair que le philosophe de la nature doit tenir compte de ces faits, de ces lois.

« Les propositions, en effet, qui énoncent ces faits, qui formulent ces lois ont, ce que ne possèdent pas les propositions purement théoriques, une portée objective. Elles peuvent donc être en accord ou en désaccord avec les propositions qui composent un système cosmologique ; l'auteur de ce système n'a pas le droit d'être indifférent à cet accord qui apporte à ses intuitions une confirmation précieuse, à ce désaccord qui est pour ses doctrines, une condamnation sans appel ². »

3. — Puisque la valeur objective de la science expérimentale est hors de doute, la théorie ne peut avoir, tant qu'elle n'a pas atteint sa forme définitive, qu'une valeur méthodologique et instrumentale. Elle n'altère pas l'expérience, elle ne diminue pas l'objectivité de la science puisqu'elle n'y est pas intégrée d'une façon complète et définitive ; elle s'y mêle uniquement pour faire servir l'expérience acquise à la recherche nouvelle, comme un levain actif de progrès.

1. DUHEM, *Physique de croyant* (Annales de philosophie chrétienne, novembre 1905. p. 134).

2. *Id.*, p. 143.

4. — Les idées de Duhem — sur le terrain purement scientifique — sont donc nettement objectivistes. Il en résulte inévitablement que, comme avec Rankine, Mach ou Ostwald, sa physique nouvelle est une évolution, une réforme de la physique ancienne, et non une transformation catastrophique.

Comme ceux de ses prédécesseurs, ses efforts visent surtout à faire de la physique une science autonome, qui n'a pas à s'inquiéter de la science du mouvement. Au contraire, la mécanique rationnelle devient un cas particulier, le plus simple, d'une mécanique plus générale, et qui s'en déduit lorsqu'on impose aux systèmes naturels certaines conditions, qui en simplifient les termes et en réduisent, bien entendu, la portée réelle.

Parallèlement, le mouvement local n'est qu'un cas particulier du changement, de la variation physique entendue en un sens qualitatif aristotélicien. Toutes les figurations tirées de la science du mouvement local, de la mécanique rationnelle deviennent par là même caduques. Et avec elles toute espèce de figuration, toute intuition tirée de la perception sensible dont la représentation géométrique n'est qu'un cas particulier. Car toute figuration sera forcément partielle, ne vaudra que pour un genre particulier de sensations, un mode particulier de variations, une classe spécifique de phénomènes, une qualité organoleptique, comme dit Ostwald. Il faut donc donner à la théorie des bases conceptuelles qui, affranchies des nécessités particulières de la perception sensible, plus exactement de telles ou telles perceptions sensibles, peuvent se prêter à les symboliser toutes. Le concept n'est-il pas la représentation uniforme, homogène, de toutes les qualités sensibles présentées par la classe d'objets qu'il définit, par la qualité qu'il connote ?

5. — Mais qu'on n'aille pas s'empresse de considérer cette physique nouvelle comme un retour à la physique de la scolastique. Duhem a souvent prêté à cette interprétation par ses propres expressions, lorsqu'il ne distingue pas nettement ce qui est pensée exclusivement scientifique, tirée,

comme il le dit, de la pratique quotidienne du laboratoire, et ce qui est tendance métaphysique, philosophie des sciences. Au point de vue philosophique, en effet, il y a une *analogie* incontestable entre la forme donnée à la théorie physique conceptuelle telle qu'il la conçoit, et la forme de la physique qualitative du péripatétisme. Mais, dans ses dernières publications sur la question, revenant sur certaines expressions équivoques, il a montré, aussi distinctement qu'on peut le souhaiter, qu'il n'y a qu'une *analogie*, et une *analogie de forme*; et encore cette analogie doit-elle préoccuper le seul métaphysicien : le physicien n'a même pas à poser la question.

La signification des concepts, *des formes* employées par la physique nouvelle est, en effet, tout autre que dans la physique scolastique. C'est une signification quantitative; et la théorie physique, comme dans toute la réforme nouvelle, se rattache directement aux idées de la Renaissance, en ce qu'elle est avant tout un *mathématisme*.

Duhem insiste trop fréquemment sur l'évolution de la physique, sur l'absence de révolution dans tout le cours de son développement, pour qu'on puisse seulement douter qu'il ne considère les idées de la Renaissance comme nécessaires au développement de la science et comme pleinement efficaces.

La science a alors quitté pour toujours le monde des essences spécifiques, des qualités occultes, expliquant le réel par l'abstrait. Si Duhem critique le mécanisme traditionnel, n'est-ce pas parce qu'il garde trop à son gré de cette tendance stérile à réaliser les abstractions, à donner un corps à des généralités mortes?

Les phénomènes ne sont plus séparés par des cloisons étanches en espèces incommensurables. Le spécifique, le qualitatif de la connaissance vulgaire, catalogué par la dialectique syllogistique ne doit plus nous empêcher de voir les *rapports* entre les phénomènes (les lois naturelles de la science moderne), et leur homogénéité fondamentale. Tout ce qu'on doit maintenir, c'est de ne pas aller plus vite dans cette homologation de la nature que ne l'autorise l'ex-

périence scientifique, et les rapports vrais qu'elle révèle :

« Pour Aristote toute recherche philosophique a pour fondement une analyse logique très minutieuse, très précise des concepts que la perception a fait germer en notre intelligence ; en chaque notion il convient de mettre à nu ce qui est l'exact apport de l'expérience, ce qui constitue essentiellement cette notion, et de rejeter sévèrement les ornements parasites dont l'imagination l'a affaiblie...

« C'est par cette analyse logique préliminaire, mais c'est seulement par elle, que la physique péripatéticienne et la physique actuelle se rapprochent l'une de l'autre. Une fois cette analyse terminée, ces deux physiques se séparent et dans des voies divergentes poursuivent des objets différents.

« *La physique péripatéticienne est, au sens actuel du mot, une branche de la métaphysique.* Si elle distingue en chacune de nos notions physiques les éléments qui la composent, c'est afin de pénétrer plus complètement la nature de l'objet que cette notion représente ; derrière chacun des éléments mis en évidence, elle place une réalité. Lorsque par exemple elle a disséqué la notion du mixte, elle essaie de concevoir comment les matières et les formes des composants cèdent la place à la matière et à la forme du mixte, quelle relation ont entre eux les accidents et les substances de ces corps.

« *La physique actuelle n'est pas une métaphysique*, elle ne se propose pas de pénétrer derrière nos perceptions pour saisir l'essence et la nature intime de ces perceptions. *Tout autre est son but.* Elle se propose de construire, au moyens de signes empruntés à la science des nombres et à l'esthésométrie, une représentation symbolique de ce que nos sens aidés des instruments nous font connaître. Une fois construite, cette représentation se prête au raisonnement d'une manière plus aisée, plus rapide, et partant plus sûre, que les connaissances purement expérimentales qu'elle remplace. Par cet artifice la physique prend une ampleur et une précision qu'elle n'aurait pu atteindre sans revêtir cette forme schématique que l'on nomme physique théorique ou physique mathématique.

« Dès lors à chacun des éléments que l'analyse logique lui fait découvrir en une des notions dont elle traite, elle fait correspondre non point une réalité métaphysique, mais un caractère géométrique ou algébrique du symbole qu'elle substitue à cette notion.

« A la notion de mixte par exemple elle substitue une formule chimique : l'idée d'analogie entre deux mixtes s'exprime par une suite d'égalités entre les indices qui affectent certaines lettres ; l'idée de dérivation par substitution se représente au moyen de certains traits. La dissymétrie d'une figure géométrique sert à signaler un corps doué du pouvoir rotatoire.

« Il est clair qu'entre cette représentation symbolique des données de l'expérience et une étude métaphysique des choses que nos sens perçoivent, il n'y a plus lieu d'établir *aucun rapprochement ; les théories de la physique moderne sont radicalement hétérogènes à la physique péripatéticienne* ; ces deux physiques ne sont liées l'une à l'autre que par l'analyse logique qui est leur point de départ commun¹. »

Ainsi la physique, malgré sa forme conceptuelle et son parti pris de ne pas débarrasser le réel des qualités que l'expérience n'a pas réduites, reste bien, selon les ambitions cartésiennes ou leibnitiennes, et nettement contre les réactions *métaphysiques* de la philosophie post-kantienne, une section de la « mathématique universelle », ainsi que les physiciens modernes l'ont tous postulé.

Elle est une province dans le royaume de la quantité, et par suite elle ne contredira pas les tentatives ininterrompues depuis la Renaissance pour étendre les conquêtes de ce royaume et pour appliquer son code fondamental : poser les rapports que manifeste l'expérience, établir une description de l'Univers qui harmonise, homogénéise les phénomènes, sinon en les identifiant, du moins en ouvrant entre eux des passages, qui permettent de les déduire les uns des autres, de les prévoir les uns par les autres, de les

1. DUHEM, *Le Mixte et la combinaison chimique*, p. 202, 205.

considérer comme des variations continues les uns des autres.

Elle ne demandera qu'une chose : appliquer ce code avec prudence, autant qu'il sera accepté des réalités expérimentales. Procéder à l'aide du raisonnement mathématique (et non du syllogisme), considérer par suite les phénomènes comme justiciables des lois de la quantité, puis les envisager, dans la mesure où l'expérience le rend légitime, comme homogènes, enfin accepter la norme de l'expérience et n'accepter qu'elle, voilà en quoi la réforme de la physique est bien, avec Duhem, une continuation de la physique traditionnelle. Du mécanisme traditionnel, il ne rejette que les prétentions de devancer l'expérience, d'homogénéiser les phénomènes dans le cadre de la mécanique, et de vouloir s'ériger en métaphysique.

LIVRE III

LA CRITIQUE DU MÉCANISME (*Suite*) L'ATTITUDE SIMPLEMENT CRITIQUE

CHAPITRE PREMIER

Préliminaires

1. *Le point de vue général qui caractérise cette attitude* : Pas de propositions reconstitutives : indifférence envers la forme particulière de la théorie dans l'état actuel de la science ; aussi penchant vers la conservation des formes traditionnelles, tant qu'il ne sera pas impossible de faire autrement. On se bornera à en déterminer la valeur exacte, à n'être pas dupe des représentations théoriques. — 2. Point de départ historique de la critique de la science physique : la critique des mathématiques. — 3. Tandis que dans l'école conceptuelle, on tend à assimiler physique et mathématique, la critique des mathématiques de Poincaré conduit à les différencier. La raison de cette différenciation doit être cherchée dans la forme des hypothèses employées dans ces deux ordres de science. — 4. Le premier genre d'hypothèses, les conventions arbitraires sont caractéristiques des sciences mathématiques. — 5. Conclusion : Les mathématiques ne sont pas objectives. — 6. L'expérience n'y a aucun rôle générateur.

1. — On peut désigner sous le nom d'école critique, je le rappelle, une école dont les représentants se sont attachés à découvrir les lacunes et les hiatus de la physique mécaniste traditionnelle, à passer au crible ses postulats, à enquêter les titres de leur légitimité. Seulement ils n'ont point opposé une autre construction au mécanisme ; ils ont continué à le considérer comme un type scientifique, susceptible d'évolution, de progrès, certes, mais qui a sa légitimité. Ils ont tout simplement critiqué sa valeur comme mode de connaissance, de même qu'ils ont critiqué celle

de la mathématique sans songer à la réformer ou à lui substituer autre chose ¹.

1. La position de Poincaré en face du mécanisme est nettement définie par ces quelques lignes qu'il a placées en tête de son ouvrage : La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes : « Donner des phénomènes électriques une explication mécanique complète, réduisant les lois de la physique aux principes fondamentaux de la dynamique, c'est là un problème qui a tenté bien des chercheurs. N'est-ce pas cependant une question un peu oiseuse et où nos forces se consumeraient en pure perte ?

Si elle ne comportait qu'une seule solution, la possession de cette solution unique, qui serait la vérité, ne saurait être payée trop cher. Mais il n'en est pas ainsi : on arriverait sans doute à inventer un mécanisme donnant une imitation plus ou moins parfaite des phénomènes électrostatiques et électrodynamiques. Mais, si l'on peut en imaginer un, on pourra en imaginer une infinité d'autres.

Il ne semble pas, d'ailleurs, qu'aucun d'entre eux s'impose jusqu'ici à notre choix par sa simplicité. Dès lors, on ne voit pas bien pourquoi l'un d'eux nous ferait, mieux que les autres, pénétrer le secret de la nature. Il en résulte que tous ceux que l'on peut préparer ont je ne sais quel caractère artificiel qui répugne à la raison.

L'un des plus complets avait été développé par Maxwell, à une époque où ses idées n'avaient pas encore pris leur forme définitive. La structure compliquée qu'il attribuait à l'éther rendait son système bizarre et rébarbatif ; on aurait cru lire la description d'une usine avec des engrenages, des bielles transmettant le mouvement et fléchissant sous l'effort, des régulateurs à boules et des courroies. Quel que soit le goût des Anglais pour ce genre de conceptions dont ils aiment l'apparence concrète, Maxwell fut le premier à abandonner cette théorie saugrenue qui ne figure pas dans ses œuvres complètes. On ne doit pas regretter cependant que sa pensée ait suivi ce chemin détourné puisqu'elle a été ainsi conduite aux plus grandes découvertes.

En suivant la même voie, il ne semble pas qu'on puisse faire beaucoup mieux. Mais s'il est oiseux de chercher à se représenter dans tous ses détails la mécanique des phénomènes électriques, il est très important au contraire de montrer que ces phénomènes obéissent aux lois générales de la mécanique.

Ces lois en effet sont indépendantes du mécanisme particulier auquel elles s'appliquent. Elles doivent se retrouver invariables à travers la diversité des apparences. Si les phénomènes électriques y échappaient on devrait renoncer à tout espoir d'explication mécanique. S'ils y obéissaient, la possibilité de cette explication est certaine, et on n'est arrêté que par la difficulté de choisir entre toutes les solutions que le problème comporte.

Mais comment nous assurons-nous, sans déployer tout l'appareil de l'analyse mathématique, de la conformité des lois de l'électrostatique et de l'électrodynamique avec les principes de la dynamique ?

C'est par une série de comparaisons. Quand nous voudrions ana-

Ils ont montré que la connaissance humaine, la science humaine, ont des limites. Ils croient que ces limites sont inhérentes à l'esprit humain.

Je suivrai surtout ici Poincaré. Il est d'abord historiquement le chef de l'école. C'est lui qui a déterminé en grande partie ce mouvement critique. C'est lui surtout auquel on se réfère le plus volontiers ; c'est lui dont on cite constamment les conclusions ou les arguments¹.

Mais c'est le développement d'une conception que je cherche à exposer, non l'œuvre d'un homme.

2. — La critique du mécanisme traditionnel se présente dans l'école critique comme la conséquence de la critique des sciences mathématiques. D'ailleurs, le mécanisme est bien chez ses fondateurs, chez Descartes par exemple, un mathématisme. Il est l'aboutissant des recherches relatives à une mathématique universelle. Pour bien comprendre cette critique des sciences physico-chimiques, il est donc nécessaire de rappeler brièvement les conclusions que Poincaré a tirées de son examen des sciences mathématiques. Elles sont le point de départ logique, elles ont été en général le point de départ historique de l'examen des théories physico-chimiques et de la critique de leur genèse et de leur portée.

3. — Toutefois, ceux que je range autour de Poincaré sont loin d'assimiler complètement les sciences physico-chimiques aux sciences mathématiques : c'est un des pre-

lyser un phénomène électrique, nous prendrons un ou deux phénomènes mécaniques bien connus et nous chercherons à mettre en évidence leur parfait parallélisme. Ce parallélisme nous sera ainsi un garant suffisant de la possibilité d'une explication mécanique.

L'emploi de l'analyse mathématique ne servirait qu'à montrer que ces comparaisons ne sont pas seulement de grossiers rapprochements, mais qu'elles se poursuivent jusque dans les détails les plus précis » (p. 7, 8).

1. On peut rapprocher de Poincaré, bien qu'il ait des divergences profondes, parmi les critiques de la physique moderne, Bouasse (Introduction aux théories de la mécanique, articles dans la *Revue générale des sciences*, la *Revue de Métaphysique et de Morale*, etc.), Andrade, l'école américaine épistémologique, et G. Milhaud (cette école et ce dernier se plaçant à un point de vue plus philosophique que scientifique, et sortant par là du cadre de cette étude).

miers points profonds de divergence entre l'école critique et l'école conceptuelle. Ces dernières rapprochent étroitement les sciences physico-chimiques et les sciences mathématiques. Elles ont étendu purement et simplement une critique des mathématiques analogue à celle de Poincaré aux sciences physico-chimiques : de là est sortie leur conception des sciences physico-chimiques. Duhem veut construire une physique *mathématique*, dans toute la force du terme : il fait de la physique théorique *more geometrico*, au sens absolu du mot ; il n'y a pas là assimilation lointaine, analogie ; il y a *identité de nature*. De même, sous un aspect plus empirique, Rankine, Mach ou Ostwald. Poincaré prend bien garde au contraire de dire que les mathématiques procèdent autrement que les sciences physico-chimiques. La physique raisonne mathématiquement, emploie les artifices mathématiques, mais elle le fait sous *certaines conditions* qui lui sont propres, et la spécifient, et elle fait aussi *autre chose*. Elle n'est pas une simple mathématique de son objet.

Qu'est-ce qui différencie physique et mathématique ? C'est le rôle et la forme de l'hypothèse. Poincaré s'est attaché à les analyser (l'un de ses deux ouvrages principaux sur ces questions est intitulé : *Science et Hypothèse*), et pour bien comprendre sa critique de la physique, il est nécessaire de résumer les conclusions de cette analyse en ce qui concerne les mathématiques.

4. — En mathématiques, les hypothèses « ne sont des hypothèses qu'en apparence et se réduisent à des définitions ou à des conventions déguisées ». Les mathématiques seraient fondées sur des décrets arbitraires de l'esprit.

L'œuvre de l'esprit dans les mathématiques n'est ni une abstraction, ni même une rectification, mais bien une création¹, une invention due à la *libre activité de l'esprit*. Celui-ci fabrique un système de signes, de symboles qui sont particulièrement aptes à représenter le système de rapports que nous appelons l'expérience et le fabrique avec ses seules ressources.

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 3.

Poincaré ne reculerait devant aucune des conséquences de cette théorie. On peut imaginer autant de systèmes, de signes qu'on voudra pour représenter les mêmes rapports. Le même texte se traduit en une infinité de langues. Seulement *il ajoute* que tous ces systèmes *signifient la même chose*.

On oublie trop souvent ce point quand on expose les idées de cette école. Or, c'est la conséquence nécessaire de ses prémisses et de son attitude.

Tous les systèmes de signes sont équivalents. Toutes les mathématiques traduisent les mêmes rapports, ou sont aptes à les traduire, chacune dans le système qu'elles adoptent, d'après leurs modalités spécifiques.

Il existera donc un vocabulaire qui permettra toujours de traduire un langage dans un autre langage, et de rendre compte des mêmes rapports dans tous les langages que l'on peut créer. Autrement dit, nous aurons toujours le moyen de passer d'un système de signes à un autre système, quel que soit le système considéré, pourvu que cet autre système soit un des systèmes scientifiques possibles. C'est ainsi que Beltrami a pu faire une sorte de dictionnaire géométrique qui donne les traductions réciproques des mêmes rapports en langage euclidien, lowatschewskien, riemannien, etc...

5. — Que conclure de là ? Il semble qu'il ne puisse y avoir ni équivoque, ni ambiguïté. Une seule issue s'ouvre devant nous : l'école critique ne saurait vraiment parler de l'objectivité des mathématiques. Notre mathématique n'est que l'une des innombrables mathématiques que nous aurions pu tout aussi bien choisir. Il serait contraire à tout ce qui vient d'être établi qu'on puisse la regarder comme étant plus particulièrement le décalque de la réalité¹. Toutes les mathématiques possibles sont aussi bien le décalque de la réalité, et toutes sont aussi bien arbitraires², étrangères à toute réalité, à toute objectivité. Il n'y a donc pas une mathématique qui soit abstraite de l'expérience et qui soit imposée

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 66.

2. *Id.*, p. 91.

par elle. Il n'y a pas de mathématique objective. Après avoir passé en revue l'arithmétique, la géométrie, même la mécanique, Poincaré écrit : « En mécanique, nous serions conduits à des conclusions analogues, et nous verrions que les principes de cette science, quoique plus directement appuyés sur l'expérience, participent encore du *caractère conventionnel* des postulats géométriques¹... » A plusieurs reprises, dans des articles divers et dans son ouvrage *Science et hypothèse* il est revenu sur cette idée que l'expérience ne joue aucun rôle dans les sciences mathématiques, pas plus dans le raisonnement par lequel elles généralisent, que dans l'objet, (la grandeur mathématique), sur lequel elles opèrent².

La notion de nombre est l'œuvre de l'esprit ; l'espace géométrique n'est même pas une forme, une loi *a priori* de l'exercice de nos sens. L'espace sensible (visuel, tactile, musculaire) est, par nature et essentiellement, différent de l'espace géométrique. Celui-ci résulte d'une définition, d'un décret de l'esprit.

Toutes les définitions géométriques sont des conventions. Les axiomes et les postulats sont des définitions déguisées. Le raisonnement par récurrence, le seul procédé d'extension des mathématiques n'est que l'affirmation d'une propriété de l'esprit qui se sait capable de concevoir la répétition indéfinie d'un même acte dès que cet acte est une fois possible. « L'esprit a de cette puissance une intuition directe et l'expérience ne peut être pour lui qu'une occasion de s'en servir et par là d'en prendre conscience³. »

6. — Certes, à plusieurs reprises on peut lire dans les écrits de Poincaré que l'expérience nous indique de tous les systèmes équivalents dont j'ai parlé plus haut, quel est le plus *commode*. Et on pourrait faire remarquer qu'il fait quand même sa part à l'expérience, et que, de ce biais, la géométrie redevient — partiellement au moins — une science expérimentale. Personne, lui dira-t-on, ne prétend qu'une science expérimentale soit le simple décalque de

1. *Id.*, p. 25.

2. *Id.*, p. 23, 24, 65, 66, 90, 92, 109.

3. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 24.

l'expérience. Tout le monde aujourd'hui s'accorde à reconnaître que dans la plus expérimentale, la plus concrète des sciences, on simplifie le réel, on abstrait, on rectifie, on prend des moyennes, on symbolise puisqu'on généralise. La part de symbolisme et d'abstraction est beaucoup plus grande en mathématiques, voilà tout. Vous en convenez vous-même, quand vous parlez des suggestions de l'expérience, qui « joue un rôle indispensable dans la genèse de la géométrie ¹ », qui « nous guide » pour nous faire « reconnaître » qu'elle est la géométrie « la plus commode ² ».

Ces objections viendraient d'une méprise. L'expérience n'a aucune part dans la construction des sciences mathématiques ; elles se constituent sans son secours, complètement. L'entendement construit le continu mathématique avec ses propres ressources. Il élabore définition et axiomes, s'occupant seulement de savoir s'il y a ou non contradiction dans ses constructions, et ne s'occupant jamais de chercher si elles sont ou non conformes à l'expérience, même rectifiée, même abstraitement schématisée. L'esprit raisonne soit par ses procédés logiques, soit par un procédé spécial : le raisonnement par récurrence qui est, lui aussi, indépendant de toute expérience. Et l'esprit, en procédant de la sorte, peut aussi bien construire une géométrie qui ne soit pas la plus commode que la géométrie la plus commode. L'expérience ne paraît qu'après coup, pour nous faire choisir dans une multiplicité de mathématiques que l'esprit avec certaines conventions pourrait rendre toutes applicables à l'expérience, celle qui s'applique le plus commodément, qui exige de lui le moins de fatigue : la géométrie euclidienne.

L'expérience sans doute nous oriente implicitement, instinctivement, vers le plus utile. Mais, en elle-même, elle reste en dehors de toute la construction mathématique. Elle n'intervient directement ni pour constituer l'objet et le définir, ni pour étayer le raisonnement. La preuve en est, si besoin est de preuves pour une affirmation que Poincaré considère comme aussi évidente, dans ce fait que les expé-

1. *Id.*, p. 90.

2. *Id.*, p. 91.

riences qui ont déterminé notre choix n'ont rien de commun avec l'objet des sciences mathématiques. « Ces expériences portent sur les propriétés des corps solides, sur la propagation rectiligne de la lumière. Ce sont des expériences de mécanique, des expériences d'optique ; on ne peut à aucun titre les regarder comme des expériences de géométrie¹. »

Cette théorie de la science mathématique est celle que l'agnosticisme propose d'étendre aux sciences dites expérimentales. Elle méritait donc comme facteur historique de nous arrêter quelque temps. La crise de la physique actuelle, et par là même des sciences expérimentales, vient en grande partie de cette extension arbitraire.

Poincaré a protesté au contraire, constamment et avec force, contre cette extension.

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 164.

CHAPITRE II

Critique des sciences physiques

1. Le second et le troisième genres d'hypothèses, (le premier étant la convention mathématique) caractérisés tous deux par leur dépendance — bien qu'à un degré différent — de l'expérience ; l'hypothèse vérifiable, l'hypothèse qui ne sera jamais fausse. — Sur l'une, se fonde la physique expérimentale ; sur l'autre, la physique théorique. — 2. *La physique expérimentale* : Elle est tout entière l'expression d'une nécessité objective. En quoi consiste cette nécessité ? Le fait scientifique et le fait brut. — 3. Sens des expressions *vrai* et *faux*. — 4. La prévision. — 5. Tout part des faits bruts pour y revenir. — 6. *La physique théorique* : Passage de la physique expérimentale à la physique théorique. — 7. a) La physique mathématique est un prolongement de la physique expérimentale ; b) et un prolongement *nécessaire* : l'unité et la simplicité de la nature. — 8. La généralisation se fait en physique au moyen des mathématiques. — L'homogénéité de la nature.

1. — Pour Poincaré, les sciences expérimentales sont bien différentes des sciences mathématiques : « Ici, la scène change ; nous rencontrons une autre sorte d'hypothèse et nous en voyons toute la fécondité¹. » Cette sorte d'hypothèse n'est plus la convention déguisée, le décret arbitraire de l'esprit, mais une proposition qui est toujours en relation plus ou moins étroite avec l'expérience.

Cette intervention nécessaire de l'expérience donne aux hypothèses une physionomie plus complexe, et amène Poincaré à en distinguer deux grandes classes : les hypothèses que suggère directement l'observation des faits ; et les hypothèses qui, sans pouvoir jamais être vérifiées expé-

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 5.

rimentalement, mais aussi sans pouvoir jamais être en désaccord avec l'expérience et de ce chef nous induire en erreur, nous sont utiles en fixant notre pensée. Approfondir leur nature à toutes deux, c'est approfondir la nature de la science physique.

Dans le domaine des mathématiques pures, Poincaré a rencontré, sous les divergences d'application, un procédé toujours identique, une démarche fondamentale. Mais dans le domaine de la physique, par cela même qu'il y a deux genres d'hypothèses, il y a deux grands procédés de l'esprit, deux démarches fondamentales, qui entraînent une sorte de dualité scientifique : mécanique rationnelle et mécanique physique ; — physique mathématique ou théorique et physique expérimentale.

Dans le mécanisme classique, on distinguait déjà les théories des parties purement empiriques de la physique, et la mécanique rationnelle de la mécanique appliquée. Seulement, dans le mécanisme classique, cette distinction établit une différence de degrés, non de nature. C'est par les mêmes procédés que la science formule quelques prévisions empiriques, des faits expérimentaux, des lois expérimentales et enfin des théories générales. La théorie est l'aboutissant du travail expérimental, justifiée par lui, vérifiable par lui ; un peu plus d'abstraction et de généralisation, certes, mais toujours une abstraction et une généralisation qui s'exercent identiquement sur les données de l'expérience.

L'originalité de Poincaré, le résultat nouveau qu'apporte sa critique, c'est que cette vue classique est erronée et que la science procède par des démarches de *nature* différente, donc de valeur diverse dans la constatation purement expérimentale et dans la construction théorique. Si l'expérience joue toujours un rôle, et un rôle nécessaire, elle ne joue pas le même rôle. En face d'elle, l'esprit se comporte autrement dans les deux cas.

Le contenu de la physique se divisera ainsi en deux ensembles, caractérisés chacun par le genre d'hypothèses qui se trouve à leur base, et corollairement, par la nature

essentielle de la démarche de la pensée et des résultats auxquels elle aboutit.

Qu'est-ce qu'une expérience ? Et en quoi consiste la physique expérimentale ? Voilà ce qu'il faut commencer par examiner si l'on veut suivre logiquement la conception que Poincaré se fait de la physique, la façon dont il se représente sa genèse et sa structure.

2. — Les sciences physico-chimiques partent des faits, c'est ce que personne ne nie. Mais on a soutenu que les faits qui étaient à la base de ces sciences n'avaient rien de commun avec les faits de l'expérience vulgaire, avec les données sensibles. On a distingué entre les faits bruts et les faits scientifiques, et mis les faits bruts en dehors de la science.

Cette thèse, Poincaré ne l'accepte en aucune façon. Il admet bien, avec tout le monde d'ailleurs, que le fait tel qu'il résulte des observations et des expérimentations de laboratoire, n'est pas ce qui apparaît au sens commun, aux sens de l'homme dépourvu de toute culture scientifique. Mais ce que le savant voit dans son laboratoire, il le perçoit dans le fait tel qu'il apparaît à tout le monde, et par suite c'est ce fait commun, ce fait brut qui le lui impose. Tout ce qu'il dira de ce fait est la traduction dans un langage spécial¹, de propriétés et de rapports réellement donnés dans l'apparence sensible. En face du fait brut, le savant ne pouvait ni percevoir, ni parler autrement. Tels faits bruts entraînent nécessairement tels faits scientifiques et non d'autres. Autrement dit, toutes les constructions de la physique expérimentale sont engendrées non par des actes de pensée, mais par l'enchaînement des phénomènes naturels. Il n'y a plus là création esthétique ou utilitaire, il y a subordination de la pensée à un ordre naturel et extérieur, à quelque chose d'objectif ; il y a tout au moins traitement d'une matière qui est imposée, et le traitement de cette matière fournit des résultats qui dépendent de cette matière, avec nécessité².

1. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 270, 271.

2. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 266.

Le fait scientifique, si l'on veut préciser, n'est autre chose qu'un fait brut qu'on débarrasse des caractères qualitatifs qui en faisaient une impression individuelle. Sur ce fait ont opéré l'abstraction et la généralisation. Mais pour cela il *n'a pas changé de nature*, car le fait, tel que l'exprime le sens commun, est toujours dans une certaine mesure abstrait et généralisé.

En considérant comme un fait brut l'impression individuelle, la sensation, point de départ de toute expérience et de toute connaissance de fait, on est bien forcé de reconnaître que dès qu'on exprime ou qu'on communique à autrui une impression individuelle, dès qu'on la constate à l'aide de ce jugement immédiat et presque implicite que comporte toute perception, commence un travail d'abstraction et de généralisation que continuera identiquement l'élaboration scientifique¹.

Poincaré peut donc dire qu'entre ces deux premiers moments de l'évolution d'une proposition scientifique citée comme exemple :

« 1°. — Il fait noir, dit l'ignorant.

« 2°. — L'éclipse a eu lieu à 9 heures », dit l'astronome.

Il n'y a pas d'hiatus, de saut qui marque une frontière entre un fait brut et un fait scientifique.

Au contraire, ces deux propositions indiquent la continuation du même travail sur une impression individuelle, qui serait, — si l'on veut, — le fait brut. Il en serait de même si l'on examinait le passage de la seconde forme de cette proposition à une troisième :

« 3°. — L'éclipse a eu lieu à l'heure que l'on peut déduire des tables construites d'après les lois de Newton. »

Et ces trois formes successives non seulement représentent la continuation d'un même travail sur l'impression individuelle, mais ne se distinguent de ce point de départ que par des modifications surajoutées qui en laissent intacte la nature profonde. Comme l'impression individuelle, les

1. *Id.*, p. 268.

énoncés 1°, 2° et 3°, sont des constatations de faits, ou plutôt ils sont le seul et même fait exprimé de trois façons différentes. Et cette traduction comporte bien une part de convention, comme tout emploi de signes, tout langage, même naturel. Elles classent le fait dans le groupe, et toute classification implique de l'artificiel et de l'arbitraire, puisque les faits réels sont tous individuels. Mais les conventions apportées par ces classifications ne sont relatives qu'au langage dans lequel on exprime le *fait*, au mode de groupement proposé; elles *supposent* toutes en dehors d'elles, en dehors de leurs prises, l'existence d'une matière brute, à laquelle nous ne pouvons rien changer et qui nous est imposée du dehors, objectivement, nécessairement¹.

3. — La preuve en est que chacune de ces propositions successives qui recouvrent le même fait comme de vêtements superposés, mais dont les plis dépendent toujours du corps qu'ils moulent, peut être *vraie* ou *fausse*, ainsi que la prémisse expérimentale. Cela ne se pourrait concevoir si ces propositions étaient les énoncés de conventions, créées librement et arbitrairement par le savant². De telles conventions, ainsi que Poincaré l'a irréfutablement montré à propos des hypothèses mathématiques, qui ne sont que cela, *ne peuvent être ni vraies, ni fausses*³. Lorsqu'on parle de vérité ou d'erreur en mathématiques, on parle de compatibilité ou d'incompatibilité avec des conventions posées comme postulats ou définitions préliminaires. Le raisonnement seul n'a pas qualité pour distribuer les qualificatifs vrais ou faux⁴.

Que signifient donc en physique, comme d'ailleurs dans leur acception ordinaire, ces qualificatifs? Ils signifient : accord ou non avec *l'expérience*, avec une *donnée sensible*; ils signifient objectivement réels, ou sans réalité objective, correspondant ou non aux faits bruts. Quels que soient le langage et les conventions adoptées, ce seront en dernière

1. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 269.

2. *Id.*, p. 268, 269.

3. Voir plus haut, p. 172.

4. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, p. 269.

analyse nos sens qui viendront confirmer ou infirmer la vérité de la proposition, sa correspondance ou sa non-correspondance avec le fait ¹.

Or, reprenons nos trois propositions. Il fait noir. — L'éclipse a lieu à 9 heures. — L'éclipse a lieu à l'heure déduite des tables de Newton. Toutes trois sont vérifiables en fait, dans l'expérience sensible, et ne sont vérifiables que là. Toutes trois, quel que soit leur degré d'élaboration, sont des énoncés de faits expérimentaux.

4. — Le caractère expérimental, objectif et nécessaire des propositions physiques se manifeste encore plus nettement, quand on songe que leur énoncé n'est pas seulement relatif à la constatation d'un fait, mais à la prévision de ce fait. Comment croire alors, devant la réussite constante de la prévision, à la création arbitraire et conventionnelle, ou à la liberté d'interprétation du fait scientifique ?

Nous arrivons ainsi aux conclusions suivantes : « Le fait scientifique n'est que le fait brut traduit dans un langage commode ². » « Tout ce que crée le savant dans un fait, c'est le langage dans lequel il l'énonce ³. »

5. — Le fait brut est donc partie intégrante du fait scientifique ; c'est sa condition d'existence ⁴. La physique expérimentale est construite avec des faits. Son contenu, ce sont des faits, ce ne sont que des faits. Et par fait, on doit entendre, selon l'acception du sens commun, des données sensibles, des perceptions.

Il serait absurde, pour éluder cette conclusion, de dire que le savant corrige les données sensibles, à l'aide d'une infinité de moyens rationnels qui dépendent d'un ensemble de conventions très complexes. Ces corrections n'ont qu'un but : retrouver le *fait brut aussi pur que possible*, en rectifiant par le raisonnement et la technique, les insuffisances qu'impliquent l'exercice de nos sens et le langage que nous employons. Loin d'altérer le fait objectif, ce que le savant

1. *Id.*, p. 269, 270.

2. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 272, 273.

3. *Id.*, p. 273.

4. *Id.*, p. 272.

met de pensée dans son travail de correction et d'élaboration, doit lui permettre de l'atteindre avec plus de précision et d'exactitude¹.

Dans la physique expérimentale, tout part donc des faits pour y revenir. L'activité du savant ne s'exerce que dans un domaine intermédiaire : il cherche à prévoir les faits et à formuler cette prévision le plus exactement possible : c'est là qu'il imagine ses hypothèses. Mais les hypothèses de cette classe, il ne les imagine pas librement et arbitrairement. Il a une matière qui le limite au départ ; et surtout il a une matière qui le limite à l'arrivée : il faut que son hypothèse soit vérifiée par le fait, qu'elle laisse place à une vérité féconde. On peut même dire que la matière sur laquelle il travaille, guide et limite continuellement son activité, dans le chemin qu'elle suit, depuis le point de départ jusqu'au point d'arrivée.

« L'expérience est la source unique de la vérité ; elle seule peut nous apprendre quelque chose de nouveau ; elle seule peut nous donner la certitude. Voilà deux points que nul ne peut contester. » Et en les affirmant aussi vigoureusement qu'il le fait, Poincaré reste en plein dans l'esprit scientifique traditionnel.

« Mais alors si l'expérience est tout, quelle place restera-t-il pour la physique mathématique ? Qu'est-ce que la physique expérimentale a à faire d'un tel auxiliaire qui semble inutile et peut-être dangereux ?

« Et pourtant la physique mathématique existe ; elle a rendu des services indéniables, il y a là un fait qu'il est nécessaire d'expliquer² ».

6. — La physique n'est pas un simple recueil de lois empiriques. Elle coordonne et systématise ces lois dans des théories très vastes qui constituent le champ de la physique mathématique. Là sont utilisées des hypothèses d'un ordre tout différent de celles qu'on vient d'examiner et l'on est beaucoup plus loin des faits et de l'expérience. Il semble qu'alors la critique de Poincaré doive arriver à des conclu-

1. *Id.*, p. 272, 273.

2. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 167.

sions sinon identiques, au moins analogues à celles auxquelles avait abouti son examen des sciences mathématiques. Le nom seul de physique *mathématique* a l'air de l'y convier.

L'effort de Poincaré pourtant va dans un sens tout opposé. Il paraît avoir à cœur de montrer que la physique mathématique est liée, beaucoup plus intimement qu'on ne le déduirait de sa critique des mathématiques, à la physique expérimentale. En passant des mathématiques à la physique, nous sommes bien entrés dans un domaine nouveau, le domaine de la nature et du fait, même lorsque nous gagnons ces régions élevées de l'abstraction qu'on appelle physique mathématique.

Et des deux mots qui forment cette expression, c'est le premier qui a le sens essentiel ; le deuxième n'indique nullement une assimilation aux mathématiques.

La conception de la théorie physique pour ce mathématicien, sans être absolument semblable à la conception traditionnelle y reste affiliée d'assez près.

7. — La physique mathématique est un *prolongement nécessaire* de la physique expérimentale. Les *modifications d'ordre méthodologique qu'elle apporte à la physique n'en excluent pas le caractère expérimental*.

7. — a) *La physique mathématique est un prolongement de la physique expérimentale*.

La description de l'expérience, les constatations qu'elle permet, ne suffisent pas en effet pour constituer une science. Il faut encore qu'on puisse se servir de ces constatations, que cette description puisse être utilisable. Il faut systématiser, ordonner, et pour cela *généraliser*¹. Ceci est la formule classique elle-même. Les théories agnostiques de la science, au contraire, prétendent qu'il n'y a point de véritable généralisation : la théorie physique est arbitraire ; tout ce qui sert à systématiser est conventionnel, sans objectivité, et par suite n'a rien de commun avec ce qu'on entend par généralisation, qui, elle, implique toujours une promotion de l'expérience.

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 163.

7. — b) La physique mathématique est un prolongement *nécessaire* de la physique expérimentale.

La partie expérimentale de la physique dirige déjà la partie théorique. L'hypothèse généralisatrice est implicitement contenue dans l'expérience, puisqu'elle en doit sortir. La « bonne » expérience est celle qui la prépare, la rend en quelque sorte inévitable, la fait surgir d'une façon nécessaire¹.

Il n'y a pas d'expérience cruciale qui vérifie une théorie de physique mathématique² ; mais il y a des expériences préalables qui déterminent la généralisation dans une direction déterminée, entre plusieurs directions possibles³. Cette union intime de l'expérience et de la généralisation mathématique se manifeste encore par un autre biais. Jusqu'ici, on a considéré la physique expérimentale comme fournissant les prémisses de l'hypothèse théorique. Cette vue était jusqu'à un certain point artificielle. L'expérience au départ et à l'arrivée, la courbe théorique intermédiaire, n'existent que dans une méthodologie factice et schématique. Mais pratiquement la généralisation ou plutôt l'hypothèse généralisatrice, préexiste à l'expérience : ce qui fait que cette expérience vérifie à la fois une relation de fait et par là autorise une théorie générale⁴.

Poincaré, maintenant qu'il a constaté, en fait, la relation étroite de la physique expérimentale et de la physique théorique, l'explique, et ceci, de nouveau, concorde singulièrement avec les tendances mécanistes, par l'unité systématique de la nature. La conception de l'unité systématique de la nature est à la base du mécanisme. Elle n'est pas aussi nettement à la base du système de Poincaré, mais il y a, à côté de divergences incontestables, des analogies qu'on ne saurait non plus dissimuler. « Toute généralisa-

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 168, 169.

2. Et encore, Poincaré a bien soin de distinguer la « bonne » expérience qui conduit à la théorie convenable. Il admet d'ailleurs l'expérience cruciale pour établir les lois empiriques (hypothèses *vérifiables*).

3. *Id.*, p. 170.

4. *Id.*, p. 171.

tion, dit-il, suppose dans une certaine mesure la croyance à l'unité et à la simplicité de la nature. » Des réserves peuvent être faites sur cette simplicité — c'est sur ce dernier point que son système s'écarte du mécanisme traditionnel, — mais, « pour l'unité il ne peut y avoir de difficulté. Si les diverses parties de l'univers n'étaient pas comme les organes d'un même corps, elles n'agiraient pas les unes sur les autres, elles s'ignorerait mutuellement ; et nous, en particulier, nous n'en connaîtrions qu'une seule. Nous n'avons donc pas à nous demander si la nature est une, mais comment elle est une¹. »

Cette affirmation énergique de l'unité de la nature, qui permet de relier par une théorie générale une série indéfinie d'expériences particulières, reste la clef de voûte des sciences physico-chimiques. Si l'unité simpliste du mécanisme traditionnel a été bouleversée, à chaque découverte, on n'en est pas moins forcé de conclure :

« Tout compte fait, on s'est rapproché de l'unité ; on n'a pas été aussi vite qu'on l'espérait il y a cinquante ans, on n'a pas toujours pris le chemin prévu ; mais en définitive, on a gagné beaucoup de terrain² ».

8. — Analysons d'un peu plus près cette unité systématique de la nature. Là encore, nous arrivons à des conclusions qui rentrent d'une façon remarquable dans l'esprit traditionnel.

La différence est dans la façon d'exprimer les choses, dans le relativisme des expressions, mais l'assiette de la théorie, les grandes lignes de la structure restent semblables.

Pour Poincaré, comme pour le mécaniste, la matière du physicien implique une certaine homogénéité. Ce n'est pas l'homogénéité simple et absolue que la mathématique réclame de son objet, mais elle s'en rapproche indéfiniment comme vers sa limite naturelle.

Cette marche vers l'homogénéité explique la possibilité pour la physique de prendre la forme mathématique. Ce

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 173.

2. *Id.*, p. 212.

n'est pas seulement parce qu'on a à exprimer des lois numériques, c'est parce que dans toute théorie physique, le phénomène observable est dû à la superposition d'un grand nombre de phénomènes élémentaires *tous semblables entre eux* (c'est Poincaré qui souligne), que la théorie physique s'expose nécessairement sous une forme mathématique. La théorie physique est amenée à poser, à l'occasion du phénomène observable, un fait élémentaire qui en est la condition et la raison d'être. Ce fait élémentaire représente ce qui dans l'expérience se manifeste, à tous et partout, dans tous les phénomènes comparables au phénomène observable, lorsqu'on les a débarrassés de ce qui fait leur complexité et les individualise. Il obéit à des lois simples. En le composant avec lui-même, selon ses lois, on en déduit le fait complexe de l'observation. Ce dernier peut ainsi être obtenu et reconstruit par *l'intégration* du fait élémentaire, sous les conditions énoncées par ses lois. Le fait élémentaire se présente donc comme une différentielle. Retrouver le phénomène complexe, c'est retrouver la fonction. « Ainsi s'introduisent tout naturellement les équations différentielles. »

Toute théorie physique est donc un problème que l'on peut mettre en équation¹.

1. POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 186, 188.

CHAPITRE III

Critique des sciences physiques (*Suite*) La nature des principes

1. Généralités : Poincaré ne propose pas une sécession. — 2. Ses critiques seront même, en général, acceptées par les mécanistes contemporains

I. — *La critique des principes. Les divergences avec le mécanisme traditionnel.*

3. Généralités : La difficulté soulevée par la physique mathématique : les deux termes physique et mathématique semblent incompatibles, d'après les prémisses posées. — 5. Comment elle est résolue. — 6. La nature des principes : Les principes de la physique mathématique sont, à un point de vue, des notions analogues aux notions mathématiques : le troisième genre d'hypothèses (les hypothèses qui ne pourront jamais être fausses) permet de soustraire la physique théorique à la revision continuelle de l'expérience, et de lui donner une rigueur et un aspect mathématiques. — 7. Comment ces principes psychologiquement se fondent sur l'expérience. — 8. En quel sens il faut entendre la « commodité » qui les a fait choisir, et la liberté de ce choix.

II. — *La validité des principes. — Rétablissement de l'accord avec la doctrine classique.*

9. Résumé des conclusions de cette analyse. — 10. Les principes n'ont pas à être vérifiés par l'expérience, car ils sont posés comme des conventions par l'esprit. Ils seront donc éternellement vrais, étant éternellement intelligibles. — 11. Et pourtant ils sont objectifs, parce que la raison les a créés sous la pression des exigences de l'expérience. Le mécanisme ne dit rien de plus et ne pourrait rien demander de plus. — 12. Comment se précise le sens à donner à la formule que les principes seront toujours vérifiés. — 13. La fortune des principes. — 14. Contradiction apparente entre la théorie de Poincaré sur les principes de la physique et la fragilité des hypothèses de la physique. Elle se résout par la remarque que ce qui est fragile dans les théories est secondaire ; les relations qui forment l'ossature de la théorie mathématique restent fixes. — 15. Il y a donc lieu de considérer à côté des hypothèses du troisième genre, qui sont toujours vérifiées, un quatrième genre d'hypothèses qui dérivent de celles-là, puisqu'elles ne sont que le moyen de les appliquer : les hypothèses

complètement indifférentes, qui ne seront jamais ni vraies, ni fausses, et qui, même contradictoires entre elles, peuvent coexister. Nouveau rapport qui en résulte avec l'esprit traditionnel de la physique. Nécessité d'hypothèses figuratives, sinon de *telle* hypothèse figurative. La différence qui subsiste, c'est que ces hypothèses sont nécessairement et toujours relatives, tandis qu'elles avaient une valeur ontologique dans le mécanisme traditionnel.

III. — *La relativité de la physique.*

16. — Sens vrai du relativisme de Poincaré : c'est plutôt, comme pour l'école conceptuelle, un positivisme expérimental. — 17 Les principes du mécanisme traditionnel et l'énergétisme. Ils se coordonnent et les seconds complètent les premiers, là où ceux-ci deviennent stériles.

1. — A toute cette théorie de la théorie physique et de la physique mathématique, le mécanisme classique n'aurait rien à reprendre. A mesure que l'on expérimente, parallèlement au travail expérimental, se dégagent des faits élémentaires et leurs lois simples. On peut alors énoncer une théorie générale qui, à l'aide des faits élémentaires et de leurs lois simples permet l'explication de tous les phénomènes complexes d'une même famille, d'un même genre, d'un même ordre. Si l'on s'arrêtait là dans l'exposé des idées de Poincaré, on arriverait à une conclusion bizarre : c'est que ce mathématicien cité partout comme un des critiques les plus autorisés de la science contemporaine se rallie purement et simplement au mécanisme tel qu'il était formulé avant les modifications que lui ont nécessairement apportées les développements récents et de la mécanique et des sciences physico-chimiques. Cette conclusion ne serait pas absolument fausse, mais elle serait incomplète. Poincaré se sépare du vieux mécanisme, qui n'a plus maintenant qu'un intérêt historique. Ce n'est pas une scission. C'est, sous la pression des exigences de la science contemporaine, une modification que l'évolution de cette science lui paraît avoir rendu nécessaire.

Le mécanisme traditionnel considérait que les généralisations théoriques n'étaient que des copies de l'expérience, depuis celles qui sont les plus près des faits jusqu'aux abstractions les plus hautes, jusqu'aux principes fonda-

taux. Il prétendait déduire tous les faits physiques des principes de la mécanique rationnelle, tels qu'ils étaient établis par l'école de Lagrange. Enfin, l'édifice du mécanisme traditionnel se proposait comme définitif, du moins dans ses grandes lignes ; il avait une valeur absolue. Voilà les trois points sur lesquels Poincaré fait porter sa critique.

2. — Les progrès réalisés par le mécanisme actuel lui-même, sont dus pour une assez bonne part à son influence sinon directe, au moins médiate. Les mécanistes récents voient le mécanisme à travers sa critique. Ils ne la prennent pas telle quelle, certes ; ils se l'assimilent et l'interprètent en la modifiant à leur tour, en éliminant certaines conséquences, en l'inclinant dans une voie plus particulière, plus réaliste. Au fond, c'est sur une question d'interprétation qui est sur les frontières de la conception scientifique et des conceptions philosophiques, plutôt que dans la conception scientifique elle-même, que Poincaré peut être distingué d'un physicien purement mécaniste.

I. — LA CRITIQUE DES PRINCIPES

(Les divergences avec le mécanisme classique)

3. — Le mécanisme traditionnel considère que l'on reste toujours dans le domaine du fait observable et vérifiable. Il postule dans la nature un agencement réel des faits élémentaires identique à celui de ses constructions rationnelles et théoriques. Le mécanisme sous sa forme actuelle ne conserve pas ce postulat, mais il considère que les abstractions les plus hautes, les « principes », sont des généralisations de lois que l'expérience met en évidence à l'occasion de faits particulièrement simples, de faits privilégiés. Tant que des expériences ne contrediront pas les conséquences de cette extension, on considérera les phénomènes nouveaux comme des modalités complexes du fait privilégié ; ils obéiront aux mêmes principes.

Ainsi, la tendance mécaniste suppose toujours qu'un principe est de même nature qu'une loi expérimentale. Il

n'en diffère que par le degré de généralité. Il peut, par conséquent, toujours être infirmé ou vérifié par l'expérience. Et chaque expérience nouvelle qui ne l'infirmé pas en est une vérification indirecte, par voie de conséquence ; c'est une preuve nouvelle de sa validité, de sa vérité objective, de sa réalité. Or, sur ce point et c'est le seul où la différence soit vraiment importante entre Poincaré et le mécanisme actuel, l'interprétation de Poincaré est tout autre. Mais qu'on n'aille pas s'y méprendre, c'est l'interprétation seule qui diffère. Au contraire, en ce qui concerne la validité des principes et leur contenu, il concède ce que le mécanisme le plus intransigeant pourrait demander ; il admet l'impossibilité de se passer des principes sur lesquels le mécanisme a appuyé toutes ses constructions, et l'impossibilité d'en infirmer jamais la validité quelles que soient les expériences futures.

Pour Poincaré, le problème posé par les principes constitutifs de la physique théorique est donc double : quelle est la nature de ces principes, quelle est leur validité ? Sur le premier point la solution sera différente de celle du mécanisme, mais sur le second les conclusions pratiques reviendront absolument au même : elles assureront d'une façon solide le développement de la physique, dans la voie où elle s'est engagée depuis la Renaissance.

4. — Poincaré a été conduit, je crois, à ses idées, touchant la nature des principes fondamentaux de la physique théorique, par sa critique des mathématiques. Il faut se rappeler que la mathématique se fonde, d'après lui, sur des décrets, des conventions de l'esprit, et en aucune façon sur l'expérience. Les conventions en tirant toute leur fécondité de la puissance créatrice de l'esprit, constituent seules ces jugements synthétiques *a priori*, qui permettent à la mathématique de n'être pas une tautologie analytique, mais une science capable de progrès et de généralisation.

Or, la physique théorique est une physique mathématique. Si l'on s'en tenait à ce qu'il a été dit jusqu'ici, on se trouverait devant une inextricable difficulté. La physique théorique d'une part est un prolongement de l'expérience et

d'autre part, une théorie physique se développe toujours par les procédés, les raisonnements propres à la mathématique, c'est-à-dire des procédés, des raisonnements absolument indépendants de l'expérience. Pourtant si la physique théorique est une physique mathématique, il faut bien qu'elle s'appuie sur des fondements, de nature identique aux fondements de la mathématique. C'est effectivement ce qui a lieu. La physique théorique s'enfoncera par ses racines dans l'expérience, et c'est pourquoi elle mérite d'être appelée *physique*, mais au sommet, elle sera suspendue à des « principes » qui rappellent par leur allure et leur rôle les notions mathématiques et elle sera bien dénommée physique *mathématique*.

5. — On voit comment se résout la contradiction : en différenciant profondément, par leur nature logique, les principes théoriques des lois expérimentales, même les plus générales ; en isolant le principe du fait, tandis que la loi expérimentale reste toujours engagée dans le fait dont elle n'est que la formule de prévision ; en distinguant une troisième classe d'hypothèses, différentes des deux autres, et pourtant participant des deux autres ; les hypothèses qui, bien que suggérées par l'expérience, seront formulées par l'esprit de telle façon qu'elles ne pourront plus être démenties par elle. « Il n'y a pas de frontière précise entre le fait brut et le fait scientifique, on peut dire seulement que tel énoncé de fait est plus brut, ou, au contraire, *plus scientifique* que tel autre¹, » disait Poincaré, en condensant la théorie qui montre les lois sortant peu à peu des faits expérimentaux pour donner les moyens de les prédire. On pourrait dire maintenant : il y a par contre une frontière infranchissable et très nette entre un principe et une loi qui permet de prévoir des faits, entre l'hypothèse du second genre (l'hypothèse vérifiable) et l'hypothèse du troisième genre (l'hypothèse invérifiable).

Une physique mathématique ne sera donc possible qu'à une condition et à une seule : c'est que la loi empirique, si

1. POINCARÉ, *Sur la valeur objective de la Science* (Revue de Métaphysique et de Morale, mai 1902, p. 274).

générale qu'on la suppose, soit érigée en *principe*, par un travail nouveau de l'esprit, qui la rende définitive, qui la soustraie à tout contrôle expérimental passé, présent ou futur, qui l'assimile à une notion mathématique. Pour Poincaré, une notion mathématique est une définition, plus ou moins déguisée, donc un décret de l'esprit, une convention, quelque biais qu'elle prenne pour se faire accepter : nécessité logique, inconcevabilité de la contradictoire, satisfaction complète de la raison, évidence, etc. Le principe physique sera donc aussi une définition, une formule posée par la raison, pour sa satisfaction propre. Le travail qui modifie la loi dont il sort, la transforme en une convention ou en un système de conventions par lesquelles elle est soustraite aux prises du doute, parce qu'elle n'est plus quelque chose de vérifiable ou de démontrable, mais un postulat posé par l'esprit, en somme, ce que la raison veut qu'elle soit.

6. — Prenons-y garde. Notre principe est une convention, si nous l'examinons en lui-même, et pour lui-même, au point de vue logique. Il est identique à la notion mathématique. Mais si nous examinons sa genèse, sa ^{re}substructure, son histoire, — et c'est en cela que l'histoire d'une science est inséparable de l'intelligibilité réelle de cette science, — il est impossible de ne pas reconnaître que l'expérience, les conditions inéluctables de la prédiction ont amené les savants à les formuler. De ce biais, il correspond à l'expérience, qu'il résume dans sa totalité passée, et c'est ce qui nous fait comprendre que les conséquences de la théorie concordent avec l'expérience. Et de l'autre biais, il dépasse, au sens *transcendant* du mot, l'expérience parce qu'il a pris la forme d'un décret sur lequel l'expérience n'a plus aucune prise. C'est une définition que pose l'esprit et au sujet de laquelle, tout comme au sujet des notions mathématiques, il serait aussi absurde de demander s'il peut être infirmé ou confirmé par l'expérience, que de demander à l'aiguilleur si le signal qu'il meut a quelques rapports objectifs avec le train qu'il annonce.

Voilà comment la physique mathématique participe à la

fois de la physique, c'est-à-dire de la science expérimentale et de la mathématique, du réel et de la convention, de l'expérience et de la logique. Et voilà pourquoi aussi on verra plus loin, en examinant la validité des principes, qu'elle est un système cohérent, fécond, utile. Pour s'en tenir, en ce moment, à l'étude de leur nature, on peut conclure : les principes, si l'on considère leur formation, sortent de l'expérience ; si l'on considère leur rôle, ils la dépassent. La nature des principes de la physique a beaucoup d'analogie avec celle des jugements synthétiques *a priori* qui, pour Kant, rendent la physique possible. Les catégories transcendantes à l'expérience comme lois de l'entendement ne dirigeaient-elles pas d'une façon immanente le sourd travail de l'imagination ?

7. — En décrivant, dans le détail, la genèse des principes, Poincaré montre comment se concilient psychologiquement ces deux caractères en apparence contradictoires, comment se réalise cette double nature : L'invention d'un principe est toujours réductible à un même procédé essentiel et élémentaire. La loi empirique énonçait une relation entre deux phénomènes réels. L'esprit introduit entre ces deux phénomènes réels un intermédiaire abstrait, défini par lui. Nous avons alors une double relation entre chacun des phénomènes réels et cet intermédiaire abstrait. L'une de ces relations sera décrétée comme principe, et l'autre restera une loi revisable. La première pourra être considérée comme indéfiniment possible, sans aucune restriction, par suite comme immuable, définitive, hors du domaine de la revision et du doute, car on pourra toujours modifier la seconde de façon qu'elle satisfasse à la première, et soit cohérente avec elle. L'expérience nous dictera ces dernières modifications ¹.

« Le principe, désormais cristallisé, pour ainsi dire, n'est plus soumis au contrôle de l'expérience. Il n'est pas vrai ou faux, il est commode ». Il n'est pas objectif, il est pratique.

1. POINCARÉ, *Sur la valeur de la Science* (*Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 275, 276).

Reste une objection grave. Ce travail que l'on a fait à propos de lois très générales, ne pourrait-il être fait à propos de toutes les propositions de la physique expérimentale, et ne pourrait-on alors transformer la physique en une science *a priori*, créée tout entière par le savant, et semblable en tout et pour tout à la théorie physique telle que la conçoivent Duhem et l'école résolument antimécaniste ? Poincaré ne rend-il pas par ce côté, tout ce qu'il retirait jusqu'ici à la critique sécessionniste ?

A priori, rien ne s'opposerait à une interprétation de ce genre. Poincaré la déclare pourtant inacceptable, par une double argumentation. D'abord la transformation des lois empiriques en principes laisse subsister les lois empiriques comme premières conséquences de ces principes¹. Ensuite, là où la transformation est possible, elle ne se fait que lorsqu'elle est commode.

Le premier point va presque de soi. Une loi empirique ne se transforme en principe qu'en dédoublant la relation qu'elle exprime, grâce à un moyen ferme qui vient s'y surajouter. A côté donc du principe coexiste, et coexiste toujours nécessairement, dans la physique, une loi empirique. Le principe n'abolit pas la loi empirique, il s'y superpose. La physique théorique ne se substitue pas à la physique expérimentale, elle s'y ajoute, la prolonge et la continue. Poincaré reste parfaitement logique avec tout ce qu'il a exposé jusqu'ici et on retrouve facilement sur le point actuel ses conclusions antérieures.

8. — Mais il y a plus, la décomposition d'une relation empirique en un principe et une loi revisable, ne se fait que lorsqu'elle est commode. Et par ce mot « commode », il ne faut pas croire que Poincaré laisse beaucoup à l'arbitraire du savant et à sa liberté. Il faut encore prévenir ici de nombreux contre-sens qui viennent du langage, des expressions que Poincaré emploie pour mieux caractériser son attitude. « Commode » prend dans le langage scientifique un sens bien différent du sens qu'il a dans le lan-

1. *Id.*, p. 276.

gage vulgaire. Ce terme ne signifie pas que l'œuvre scientifique est un procédé facile ou habile, choisi pour un agrément particulier et individuel. Il n'a rien à faire avec la convenance du savant, tandis qu'un objet n'est, au sens vulgaire, commode que pour la convenance de qui l'emploie. Non, commode exprime ici *adaptation à l'objet*. Cette adaptation donne, de l'objet, l'aspect sous lequel il sera le plus facile de le faire apercevoir de tous, et le moyen le plus favorable pour agir sur lui, c'est-à-dire autant d'intelligibilité et d'objectivité qu'il se peut. La commodité ici dépend donc à la fois de la nature de l'objet et de la nature du sujet, toutes deux indépendantes de notre volonté. Elle a un caractère d'universalité qui enlève au choix son arbitraire. Des conditions nécessaires limitent ce choix, et enferment dans un cercle étroit ce que nous pouvons nous représenter comme commode, si étroit, qu'il n'y a jamais dans la science qu'une théorie qui l'emporte et que lorsque tombent les hypothèses particulières, les principes, c'est-à-dire les clefs de voûte de la théorie restent très vraisemblablement définitifs ¹.

Dans le domaine scientifique, l'idée du « plus ou moins commode » a donc quelque chose de nécessaire. La commodité dépend de conditions extérieures qu'il n'appartient au savant ni d'enfreindre, ni de choisir.

L'expérience fournit ces conditions-limites, et avec elle, la tendance fondamentale de notre esprit qui nous impose la formule la plus simple, la plus intelligible par laquelle puisse se traduire l'expérience ² :

« L'expérience nous fait connaître des relations entre les corps ; c'est là le fait brut ; ces relations sont extrêmement compliquées. Au lieu d'envisager directement la relation du corps A et du corps B, nous introduisons entre eux un intermédiaire qui est l'espace, et nous envisageons trois relations distinctes ; celle du corps A avec la figure A' de l'espace, celle du corps B avec la figure B' de l'espace, celle des deux figures A' et B' entre elles. Pourquoi ce dé-

1. *Id.*, p. 276.

2. POINCARÉ, *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 277.

tour est-il avantageux ? Parce que la relation de A et B était compliquée, mais différait peu de celle de A' et B' qui est simple ; de sorte que cette relation compliquée peut être remplacée par la relation simple entre A' et B' et par deux autres relations qui nous font connaître que les différences entre A et A' d'une part, entre B et B' d'autre part sont *très petites*. Par exemple, si A et B sont deux corps solides naturels qui se déplacent en se déformant légèrement, nous envisagerons deux figures *invariables* mobiles A' et B'. Les lois des déplacements relatifs à ces figures A' et B' seront très simples, ce seront celles de la géométrie. Et nous ajouterons ensuite que le corps A qui diffère toujours très peu de A', se dilate par l'effet de la chaleur et fléchit par l'effet de l'élasticité. Ces dilatations et ces flexions, justement parce qu'elles sont très petites, seront pour notre esprit d'une étude relativement facile. S'imagine-t-on à quelle complication de langage il aurait fallu se résigner si on avait voulu comprendre dans un même énoncé le déplacement du solide, sa dilatation et sa flexion ?

La relation entre A et B était une loi brute, et elle s'est décomposée. Nous avons maintenant deux lois qui expriment des relations de A et A', de B et B' et un principe qui exprime celle de A' avec B' ».

Si l'on se souvient maintenant de la tendance qui a porté nécessairement la science à superposer à la physique expérimentale une physique théorique, si l'on se rappelle qu'une théorie est une généralisation de l'expérience, et qu'il n'y a pas de science sans généralisation, on voit comment la physique mathématique, rendue possible par la construction des principes au-dessus des lois expérimentales, se trouve être le terme de la généralisation de l'expérience, en même temps qu'un prolongement de la mathématique. De la double racine de ses principes, elle garde ce double aspect :

« Nous avons une relation entre deux corps A et B, que nous avons remplacée par une relation entre deux figures A' et B' ; mais cette même relation entre ces deux mêmes figures A' et B' aurait pu tout aussi bien remplacer avan-

tagusement une relation entre deux autres corps A'' et B'', entièrement différentes de A et B. Et cela de bien des manières. Si l'on n'avait pas inventé les principes et la géométrie, après avoir étudié les relations de A et B, il faudrait recommencer *ab ovo* l'étude de la relation de A'' à B''. C'est pour cela que la géométrie est si précieuse. Une relation géométrique peut remplacer avantageusement une relation qui, considérée à l'état brut, devrait être regardée comme optique, etc. ¹ ».

II. — LA VALIDITÉ DES PRINCIPES

(*Le rétablissement de l'accord avec la doctrine classique*)

9. — Pour résumer l'analyse qui précède, tout principe dans les sciences physico-chimiques, y compris la mécanique, se présente sous deux aspects différents. D'une part, il est relié étroitement à des vérités fondées sur l'expérience et vérifiée d'une façon très approchée. D'autre part, c'est un *postulat applicable à l'ensemble de l'univers et regardé comme rigoureusement vrai*. En tant que postulat de ce genre, il possède une généralité et une certitude qui faisaient défaut aux vérités expérimentales d'où il est tiré.

Il le doit à ce qu'il se réduit « en dernière analyse, à une simple convention. Nous avons le droit de la faire parce que nous sommes certains d'avance qu'aucune expérience ne viendra la contredire ² ». Nous en sommes certains par la façon même dont nous l'avons élaborée et posée.

10. — En tant que convention, un principe est donc *en dehors de l'expérience* ; il n'a plus rien à voir avec elle, il n'est plus revisable par son moyen. Se demander si un principe est ou non vérifié par l'expérience, poser l'hypothèse que l'expérience pourra un jour l'infirmer, envisager l'abandon du principe dans la théorie physique, ou sa modification pour un avenir plus ou moins lointain, est hyperbolique. Le principe en tant que principe est inébranlable.

Voilà une conclusion qu'on est accoutumé à passer sous

1. *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 277, 278.

2. D'après POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 162 sq.

silence, en général, quand on revendique l'autorité de Poincaré en matière de physique, pour discréditer la valeur ou la validité des théories scientifiques. Elle vaut la peine d'être mise en lumière. Elle mérite d'être restituée à sa vraie place dans la conception générale de la physique dont elle est une pièce capitale.

Je ne suis pas bien sûr que la théorie de Poincaré sur les propositions mathématiques et les principes de la mécanique et de la physique n'ait pas été guidée d'une façon latente par cette préoccupation : les mettre, les unes comme les autres, hors de l'atteinte de l'expérience toujours sujette à caution, affirmer leur rigueur absolue, leur immutabilité dans la construction scientifique. Si bien que ce conventionalisme dont on a usé et abusé dans la suite, pour discréditer la rigueur scientifique et ruiner l'idée qu'une proposition scientifique puisse être définitive, aurait pour fin réelle d'assurer la certitude de la science, son caractère définitif et universel.

Que peut craindre de l'expérience un décret de l'esprit ? Il n'y a pas entre lui et elle de commune mesure ; c'est pourquoi toute raison de douter, même hyperbolique doit être bannie de la mathématique. En physique, la convention, il est vrai, n'est pas absolument arbitraire, « elle ne sort pas de notre caprice, nous l'adoptons parce que certaines expériences nous ont montré qu'elle serait commode¹ ». Mais elle n'en est pas moins posée par l'esprit comme une convention. En tant que convention, et peu importe à ce point de vue les expériences qui nous l'ont suggérée, elle est aussi inébranlable qu'un axiome géométrique, car, comme lui, elle est incommensurable avec l'expérience : « On s'explique ainsi comment l'expérience a pu édifier les principes de la mécanique, et pourquoi cependant elle ne pourra les renverser². Il est « tout aussi déraisonnable de chercher » s'ils sont faux « que de demander si le système métrique est vrai ou faux³ ».

1. *Science et hypothèse*, p. 163. Cf. 157, 133, 134, 119, 127, 128, 129.

2. *Id.*, p. 163.

3. *Id.*, p. 163.

11. — Les principes de la mécanique et de la physique ont donc « *une très haute valeur*, ils représentent comme la quintessence d'innombrables observations ». Mais de leur élaboration même en principes, résulte « qu'ils ne peuvent plus ne pas *être vérifiés*¹ ».

Ils affirment un rapport réel, une parenté véritable entre un ensemble très vaste de phénomènes ; ils permettent d'ordonner théoriquement et d'expliquer, les uns par les autres, les éléments de cet ensemble, et pourtant ils ne peuvent pas être mis en défaut par quelque expérience que ce soit. Ils sont « assurés d'avance d'être vérifiés dans l'acception stricte du mot² ».

La physique classique ne trouverait rien à redire à cette conception de Poincaré. Certes, elle différerait d'avis sur la nature des principes ; mais nullement sur leur validité et leur rôle.

Si la théorie de Poincaré se sépare logiquement par un abîme infranchissable d'une interprétation ontologique du mécanisme, si elle est propre à étayer un idéalisme philosophique, du moins sur le terrain scientifique elle concorde très bien avec l'évolution générale des idées classiques, et la tendance à considérer la physique comme un savoir objectif, aussi objectif que l'expérience, c'est-à-dire les sensations dont elle émane.

12. — Plus d'un lecteur de Poincaré demandera peut-être ici : Quels avantages donne cette transformation de la loi expérimentale en principe conventionnel ? Qu'elle y gagne en intelligibilité, en logique, cela se conçoit encore ; mais qu'elle n'y perde point en objectivité, en solidité, cela ne se comprend plus. Ne semble-t-il pas qu'on introduise, au contraire par là, la contingence, l'appréciation subjective, la mobilité, le doute ?

De telles objections montreraient, je crois, qu'on n'a pas très bien entendu ce que Poincaré a voulu dire, et qu'on ne saisit pas l'exacte portée du principe physique. Voici une loi expérimentale : la conservation de la masse. On l'a

1. D'après POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 195.

2. *Id.*, p. 196.

vérifiée dans un certain nombre de cas particuliers. On l'érige à la suite d'abstractions convenables en un principe physique. Pour cela, on construit la définition de la *masse*. Nous dirons que, quels que soient les corps considérés et leur vitesse, on peut, dans *tout* ce qui concerne la théorie de leurs mouvements, les remplacer par leur masse. En écrivant que, pour chacun de ces corps, cet *élément se conserve*, nous énonçons un principe conventionnel. Mais nous l'énonçons parce que les différences, que la considération de cet élément et de la loi auquel il est soumis peut introduire entre les résultats de nos calculs et l'expérience, sont restés jusqu'ici au-dessous de toute valeur assignable.

13. — 1° Nous sommes sûrs de n'être pas contredits par l'expérience. Notre esprit qui peut isoler, classer, comme il le croit bon, les phénomènes, a posé les conditions d'applicabilité de telle sorte qu'elles entraînent nécessairement la concordance de l'expérience et du principe. Le seul doute hyperbolique que pourrait soulever une métaphysique serait de demander s'il y a des faits semblables, ayant l'analogie — très restreinte d'ailleurs — réclamée par notre abstraction. Mais l'affirmative est la seule condition de la science et de la pensée : connaître, c'est reconnaître. Elle est imposée par le fait, et la science n'a pas à se préoccuper de ce doute.

2° Des faits récents sont venus qui semblent montrer que dans certains phénomènes physiques la masse ne se conserve pas : elle est fonction du mouvement. Elle croît avec la vitesse. Le principe de la conservation de la masse, la loi d'inertie sont donc faux ? La mécanique rationnelle doit donc être transformée radicalement et tous les théorèmes qui faisaient intervenir ce principe, considérés comme autant de solutions fausses ? Pas le moins du monde. La mécanique rationnelle restera vraie, l'ensemble des théorèmes considérés restera vrai, le principe restera vrai, comme avant. La science, au lieu de considérer le principe de la conservation de la masse comme universel, se contentera de le considérer comme partiel.

Elle décidera qu'il est exact dans certaines limites, et ces

limites définissent précisément le cercle des phénomènes connus jusqu'alors et où il s'appliquait effectivement. Au delà de ces limites, il faut faire intervenir de nouvelles définitions. Et notre esprit *peut toujours s'arranger* pour qu'elles soient compatibles avec l'applicabilité du principe de la conservation de la masse, dans les limites précitées. On considèrera par exemple une fonction mathématique où la variable reste fixe, pour les valeurs des paramètres déterminées par ces limites.

Si l'on voulait, à toute force, conserver le principe de la conservation de la masse, et le système de conventions qu'il implique, on le pourrait d'ailleurs. On imaginerait de nouvelles conventions complémentaires et des constructions très compliquées qui coïncideraient avec les résultats de l'expérience. Mais on préférera sans doute le laisser dans les limites d'applicabilité définies par les conditions pour lesquelles il fut inventé ; et là où il faudrait multiplier les artifices et les complications, on construira une définition nouvelle qui simplifiera et rationalisera l'expérience d'une façon plus directe et plus immédiate. On complètera le système traditionnel par un nouveau principe, à moins que des expériences nouvelles ne nous permettent de conserver l'universalité du principe sans ces complications, ou même nous forcent à la conserver malgré les complications, pour représenter l'expérience d'une façon adéquate.

En résumé, on considèrera d'abord qu'une partie de l'expérience — qui fut un moment toute l'expérience — est très bien exprimée et systématisée pour la raison, avec les conventions anciennes, abstraites de cette expérience, suggérées par elle, faites avec elle et pour elle. On trouvera ensuite qu'une autre partie de l'expérience — qui avait été ignorée jusque-là — sera très bien exprimée et systématisée pour la raison, avec des conventions nouvelles, abstraites de cette expérience nouvelle, suggérées par elle, faites avec elle et pour elle.

Rien n'aura infirmé le principe primitif. Il y aura seulement des faits où son application doit cesser, parce qu'ils ne présenteront plus à l'observation directe les éléments

et les conditions que les faits primitifs avaient permis d'isoler et d'abstraire.

Le principe physique sera toujours vérifié, mais dans les limites où la vérification est utile ou possible, *ce qui revient au même*, puisque l'utilité, dans cette théorie de la science, se confond avec la possibilité de la vérification, avec l'adaptation au réel.

La vérification constante du principe ne signifie donc pas que l'extension d'un principe *actuel* soit *sans limites*, et que la physique telle qu'elle se présente à nous aujourd'hui soit la physique définitive, immuable ; ses fondations sont bien inébranlables, mais rien n'indique que l'édifice de l'avenir s'élève tout entier sur elles. Il est à présumer, au contraire, qu'on ne pourra pas toujours surcharger l'édifice, en élévation ; il faudra qu'on étende sa superficie, qu'on ajoute des ailes, et aux fondations existantes d'autres fondations qui s'y relient.

16. — Ceux qui citent Poincaré pour justifier, en matière de sciences, un scepticisme qu'ils prétendent logiquement inévitable, opposeront sans doute à l'interprétation qui vient d'être donnée de sa doctrine ses affirmations nombreuses concernant la fragilité des hypothèses émises jusqu'ici et l'infinité des hypothèses qui pourraient l'être.

Mais la fragilité et la multiplicité des hypothèses excluent-elles que, dans toutes les hypothèses émises, comme dans toutes les hypothèses possibles, il y ait des éléments communs et qui restent à l'abri de toute revision ultérieure ? Poincaré répond avec force que non, et toute l'histoire des sciences avec lui.

Les hypothèses dont il a énoncé la fragilité sont des interprétations momentanées toujours plus ou moins individuelles des relations expérimentales ou des principes qui fondent la théorie mathématique : ce sont les mécanismes figurés, les modèles mécaniques, les représentations concrètes (tourbillons, atomes, fluides, agencements de mécanismes matériels) en la réalité desquels croyait trop volontiers la physique classique.

Mais les mêmes relations et les mêmes principes forment

toujours l'ossature de toutes ces représentations concrètes. Ils résistent aux prises du temps comme de la critique. Ils se complètent, certes, à chaque découverte nouvelle ; ils se compliquent aussi, à mesure que s'approfondit l'étude de la nature et qu'on essaye de serrer de plus près la complexité du réel ; mais en se complétant et en se compliquant, les parties déjà construites, à moins qu'il ne s'y soit glissé de grossières erreurs, (comme dans les lois du choc de Descartes), par une analyse expérimentale insuffisante, restent inébranlées et inébranlables¹.

Les hypothèses fragiles sont des images dont nous habillons les relations physiques. Mais ces relations sont aussi réelles que les sensations directes des phénomènes, puisque après tout elles s'y ramènent. Elles sont ce qui reste de ces sensations, lorsqu'on les a dépouillées de leurs nuances individuelles, de ce qu'elles ont vraisemblablement d'illusoire et d'accidentel, de *subjectif*. Poincaré le dit en propres termes : les hypothèses fragiles sont des images « qui expriment des rapports vrais » et dont nous « habillons » la « réalité ».

Ainsi rien n'est moins subjectif, individuel et fragile que la théorie physique si on la considère dans son squelette et sa charpente. Elle est au contraire permanente et stable. Elle exprime par ses équations des rapports, et ses équations restent identiquement les mêmes, à travers l'évolution de la physique, parce que les rapports qu'elles traduisent sont des rapports réels. Ils sont même la seule réalité que nous puissions vraiment atteindre². Ils n'ont donc rien des « recettes pratiques » auxquelles un scepticisme superficiel voudrait les réduire. Ce qui est recette pratique, ce sont les images que nous sommes forcés de mettre à la place des objets réels pour soutenir l'énoncé des rapports que nous constatons entre eux. Ces images ne sont que des métaphores indifférentes ; elles jouent dans la théorie scientifique le rôle des décors dans une pièce de théâtre : elles sont chargées de rendre facilement accessible le

1. *Science et hypothèse*, p. 189, 190.

2. *Id.*, p. 190.

développement de la pièce qui nous raconte l'histoire des phénomènes naturels. Mais pourvu que les rapports que l'on établit entre ces images soient bien identiques aux rapports qui existent entre les objets réels, et que ces rapports soient connus, « qu'importe si nous jugeons comme de remplacer une image par une autre » ?

15. — Dans la classification des hypothèses que l'on emploie dans la science, il convient donc de faire une nouvelle distinction et d'en noter à côté des trois premiers genres, un quatrième : les hypothèses indifférentes qui se rattachent aux hypothèses invérifiables et en sont un accompagnement secondaire. A condition qu'elles respectent les relations empiriques d'une part, mathématiques de l'autre, elles établissent comme un passage des unes aux autres en donnant un corps maniable aux conventions abstraites de la théorie, en les rendant aussi plus aisément intelligibles. A côté donc des hypothèses conventionnelles de la mathématique, à côté des hypothèses expérimentales, véritables généralisations que les faits devront confirmer ou infirmer et qui sont toujours fécondes, à côté des hypothèses théoriques, qui forment le fond de la physique mathématique, qui lui fournissent ses principes et qui ne pourront jamais être fausses, il y a enfin les hypothèses qui ne sont ni vraies ni fausses, tout en étant utiles, voire indispensables, qui sont toutes *vraies* à la fois, dit même Poincaré, parce qu'elles mettent en évidence des rapports vrais ¹.

Il fait à ces images, à ces métaphores indifférentes, une place qu'on est peu habitué à leur accorder dans les modernes considérations philosophiques sur la science. Il dit en propres termes « que nous sommes forcés » de les employer dans les théories de la physique : elles sont indifférentes quant à leur forme précise, mais elles sont *nécessaires* quant à leur rôle général. Nous pouvons les modifier, les changer, nous ne pouvons pas les supprimer. Quelles qu'elles soient, il faut qu'il y en ait ².

1. *Science et hypothèse*, p. 191, 192, 193.

2. *Id.*, Cf. notamment cette expression : *les images que nous sommes forcés de mettre à leur place*. (leur, i. e. des relations véritables).

Sous une divergence précise d'interprétation, on trouve encore ici la conservation en fait d'une caractéristique du mécanisme classique. Le mécanisme ne se borne pas à démontrer qu'une explication mécanique est possible, et à en tracer la structure mathématique ; il essaye de se représenter ce mathématisme formel : c'est un des traits — le plus important peut-être — qui le distinguent de l'école sécessioniste. Seulement cette représentation, ce modèle mécanique n'est pas définitif ; il est une hypothèse, et le progrès de la science consiste à améliorer, à compléter cette hypothèse en la transformant. La représentation n'est donc, en tant qu'elle est seulement une figure possible de la théorie entre mille autres, qu'un aspect contingent de cette théorie. Mais, en tant que la théorie ne se développerait pas sans une représentation de ce genre, celle-ci en est une partie intégrante et nécessaire. Autrement dit, si telle hypothèse figurative n'est en aucune façon nécessaire et définitive, si elle n'est qu'une supposition utile momentanément pour le progrès de la science, il est nécessaire, pour un mécaniste, qu'il y ait toujours une hypothèse figurative de ce genre, car la relation que cache le symbolisme mathématique est une relation réelle ; on a le droit et le devoir d'essayer de se la représenter sous une forme réelle, d'approcher progressivement la réalité, sans peut-être jamais l'atteindre.

En ce sens, les termes de Poincaré : « *nous sommes forcés de les employer* », sont bien dans la tradition, le sens et l'esprit du mécanisme traditionnel. Il diffère de cet esprit par la relativité à laquelle il condamne pour jamais ces théories figuratives ; et par là, s'il se sépare nettement du mécanisme ontologique, il s'éloigne beaucoup moins, comme on le verra, de l'évolution actuelle du mécanisme,

III. — LA RELATIVITÉ DE LA PHYSIQUE.

16. — En résumé, Poincaré combat le mécanisme cristallisé sous la forme qu'il revêtait dans la première moitié du xix^e siècle, en insistant sur la relativité de la science.

Il conclut à cette relativité non à l'aide d'arguments philosophiques, et d'une dialectique *a priori*, mais en s'appuyant sur les faits que lui fournit le contenu de la science actuelle, sur des raisons positives. Il s'oppose à ce que l'on transforme les théories des sciences physico-chimiques par une métaphysique inconsciente et simpliste, en une connaissance de l'absolu.

Par là, il est d'accord avec l'évolution qui a donné aujourd'hui au mécanisme lui-même son apparence théorique et son éloignement des matérialisations grossières. Il s'accorde donc avec le mécanisme actuel, beaucoup plus qu'il n'en diffère, et sur tous les points importants, notamment sur la valeur objective de la science, son unité, la stabilité de ses principes, enfin l'utilité nécessaire, sinon de telle figuration particulière, au moins d'une représentation sensible en général, pour rendre tangibles et maniables les relations théoriques.

17. — Poincaré, il est vrai, admet à côté des trois principes du mécanisme classique (inertie, action et réaction, indépendance des mouvements), sur le même rang qu'eux et au même titre, les principes de conservation de l'énergie, le principe de Carnot et le principe de la moindre action qui, d'après lui, caractérisent l'énergétique. Ce sont des principes autonomes dont l'application rend aux sciences physico-chimiques les services suivants : 1° d'abord, ils dispensent de l'hypothèse atomique. Je ne mentionne cet avantage que pour mémoire, car l'hypothèse atomique est une hypothèse indifférente, un des costumes particuliers, le plus habituel peut-être, dont on a revêtu la théorie mécanique des phénomènes, mais cette théorie elle-même en est complètement indépendante. 2° Ensuite, — ce qui mérite plus d'attention — la théorie devient moins incomplète, « c'est-à-dire que les principes de la conservation de l'énergie et de Hamilton, nous apprennent plus que les principes fondamentaux de la théorie classique, et excluent certains mouvements que la nature ne réalise pas et qui seraient compatibles avec la théorie classique ». En d'autres termes, le mécanisme traditionnel est trop large

et par suite trop vague. Les nouveaux principes, résultat des découvertes nouvelles, imposées par l'expérience qui *n'a pas infirmé les anciens* (il faut se rappeler qu'ils ne peuvent être faux en eux-mêmes) sont féconds et nécessaires dans certains domaines où les autres restaient stériles, inaptes à enchaîner des relations nouvelles entre des faits nouveaux.

On retrouve là sans peine le résultat de la critique précédente sur la validité des principes. Du même coup, on voit que les premiers posés ne sont pas infirmés ; que le mécanisme est complété, qu'il n'est pas ruiné.

Si la théorie énergétique présente ainsi pour Poincaré certains avantages sur le mécanisme classique, si elle doit, par conséquent, s'y superposer, elle n'est pas considérée comme une théorie d'essence différente et qui va changer les destinées de la physique ; elle n'est pas la perfection succédant au chaos. Elle est un progrès, un complément et voilà tout. La preuve en est que Poincaré en fait une critique absolument semblable à celle à laquelle il a soumis la mécanique classique¹. Et il arrive à des conclusions identiques.

Les nouveaux principes sont de même nature que les principes newtoniens² ; le principe de moindre action, auquel Poincaré rattache étroitement l'énergétisme ne paraît pas avoir une extension illimitée ; car ce principe n'est nullement satisfaisant en ce qui concerne les phénomènes irréversibles³. Et c'est au nom du mécanisme, pour rejeter toutes les traces de finalisme, et de théorie qualitative, que Poincaré trouve que l'énoncé du principe de moindre action a quelque chose de choquant pour l'esprit.

« L'énoncé même du principe de moindre action a quelque chose de choquant pour l'esprit. Pour se rendre d'un point à un autre, une molécule matérielle, soustraite à l'action de toute force, mais assujettie à se mouvoir sur une sur-

1. « Les définitions des deux sortes d'énergie soulevaient des difficultés presque aussi graves que celles de la force et de la masse dans le premier système. » (*Science et hypothèse*).

2. *Science et hypothèse*, p. 153, 154.

3. *Id.*, p. 154.

face, prendra la ligne géodésique, c'est-à-dire le chemin le plus court.

« Cette molécule semble connaître le point où on veut la mener, prévoir le temps qu'elle mettra à l'atteindre en suivant tel et tel chemin, et choisir ensuite le chemin le plus convenable. L'énoncé nous la présente pour ainsi dire comme un être animé et libre. Il est clair qu'il vaudrait mieux le remplacer par un énoncé moins choquant et où, comme diraient les philosophes, les causes finales ne sembleraient pas se substituer aux causes efficientes¹. »

1. *Science et hypothèse*, p. 154.

CHAPITRE IV

Conclusions relatives à l'école critique

1. La valeur objective de la science. — 2. Le maintien de l'esprit traditionnel de la physique moderne, en écartant simplement la valeur ontologique des théories physiques. — 3. La réalité des rapports et le règne de la quantité. — 4. Vue d'ensemble.

1. — Que ressort-il en définitive de cette analyse d'une œuvre que le scepticisme concernant la valeur objective de la science a si souvent revendiquée comme sienne et que l'on a opposée constamment à la physique classique ? Il en ressort, ce semble, sous les divergences superficielles rendues nécessaires par l'originalité individuelle, un accord profond avec l'esprit traditionnel de la science moderne. La science ne s'émiette pas, ne se disperse pas, chaque savant poursuivant sa chimère, mais elle continue son développement harmonieux sur la même route, malgré ses détours. La science n'est pas une œuvre d'art et d'imagination ; elle est une œuvre collective et dont le développement présente au plus haut degré les caractères de la continuité.

Comme la physique traditionnelle, celle de Poincaré, postule la continuité de l'expérience et de la théorie : la théorie, c'est avant tout l'expérience généralisée. Ce postulat repose en dernière analyse sur une croyance commune dans l'unité de la nature. Cette croyance n'est pas identique à celle que l'on rencontre dans le mécanisme du XVIII^e siècle, qui invoquait la simplicité de la loi de Mariotte comme un argument en faveur de son exactitude. Mais elle résulte de la réussite, de la prédiction et de la généralisation¹. Si la nature en elle-même n'est point simple, grâce à la loi des grands nombres et des moyennes, aux quantités négligeables, nous pouvons sans danger faire

1. *Science et hypothèse*, p. 172, 176.

comme si elle l'était : car qu'elle soit réelle ou apparente « cette simplicité a toujours une cause ». Et c'est cette cause réelle que représente la simplicité de la loi scientifique.

Poincaré, et on s'est servi souvent de cet argument pour l'opposer au mécanisme, déclare que lorsqu'une théorie de ce genre est possible, il y en a toujours une infinité d'autres également possibles. Mais on ne fait pas attention que cela était voulu logiquement par ses prémisses, puisque la théorie doit s'exposer sous forme mathématique. Or, Poincaré prétend que, dans un domaine limité par des conditions données, il y a une infinité de mathématiques possibles. Seulement, en suivant toujours les conséquences logiques des idées de Poincaré, toutes ces théories reviennent au fond au même, puisqu'elles sont toutes comme les différentes mathématiques, traductions l'une de l'autre : un même texte écrit en une infinité de langues. *Toutes ces théories établissent donc un texte.* Et si une théorie particulière comporte des conventions particulières et arbitraires, le texte, lui, est un ensemble fixe de relations réelles et vraies. Il y a plus. Entre toutes les mathématiques possibles, la nôtre s'est imposée comme celle qui répondait le mieux à nos besoins, à notre expérience, comme la plus « commode ». Ne peut-on dire aussi que la physique traditionnelle (la physique du mécanisme), s'impose comme traditionnelle, parce qu'elle est réclamée par nos besoins, et qu'elle est la plus « commode » ? Le mécanisme repose ainsi sur un ensemble de relations réelles, puisqu'il est la déduction logique suggérée par l'expérience. La tradition, ici, a ses raisons et sa valeur, et nous ne pouvons passer outre.

2. — Poincaré reconnaît en termes formels, sur des exemples positifs, et par une analyse de faits, que l'évolution des sciences physico-chimiques se poursuit d'une façon normale et continue depuis la Renaissance, par conséquent que le mécanisme se développe, loin de recéder, à mesure que ces sciences se développent, et qu'il est comme leur atmosphère naturelle et vraisemblablement nécessaire. Il faudrait citer ici les pages qui concluent une

étude sur la physique et le mécanisme¹. Je me contenterai de citer les passages les plus saillants de son étude sur l'état actuel de la science : « Ce que nous avons de plus satisfaisant (comme théorie de l'électricité), c'est la théorie de Lorentz ; c'est sans contredit celle qui rend le mieux compte des faits connus, celle qui met en lumière le plus grand nombre de rapports vrais, celle dont on retrouvera le plus de traces dans la construction définitive... Voyez la facilité avec laquelle le phénomène nouveau de Zeeman a trouvé sa place toute prête et a même aidé à classer la rotation magnétique de Faraday qui était restée rebelle aux efforts de Maxwell ; cette facilité prouve bien que la théorie de Lorentz n'est pas un assemblage artificiel destiné à se dissoudre². »

Or, la théorie de Lorentz, bien qu'elle ne construise pas d'hypothèses matérielles, est une théorie mécanique ; Larmor, il est vrai, a échoué en voulant figurer cette théorie par un mécanisme matériel, du moins d'après Poincaré. Mais « si Larmor a, à mon sens, échoué, cela veut-il dire qu'une explication mécanique est impossible ? Loin de là : j'ai dit plus haut que dès qu'un phénomène obéit aux deux principes de l'énergie et de la moindre action, il comporte une infinité d'explications mécaniques ; il en est donc ainsi des phénomènes optiques et électriques : Nous devons donc borner notre ambition ; ne cherchons pas à formuler une explication mécanique ; contentons-nous de montrer que nous pourrions toujours en trouver une si nous le voulions. A cela, nous avons réussi³ »...

Pour les phénomènes irréversibles, Poincaré montre même que la physique tend à admettre que l'irréversibilité n'est qu'apparente : elle serait un effet de la loi des grands nombres ; les idées originales de Gouy sur le mouvement brownien, qui échapperait au principe de Carnot, permettent d'entrevoir la réduction des phénomènes irréversibles aux phénomènes réversibles, et par là à une théo-

1. *Science et hypothèse*, p. 202, 212.

2. *Id.*, p. 205, 206.

3. *Id.*

rie mécanique. « En résumé, les phénomènes anciennement connus se classent de mieux en mieux ; mais des phénomènes nouveaux viennent réclamer leur place ; la plupart d'entre eux, comme celui de Zeemann, l'ont trouvée tout de suite. » Quant aux autres, « je ne crois pas qu'ils détruiront l'unité générale, je crois plutôt qu'ils la compléteront ». D'autre part, les radiations nouvelles semblent nous montrer de véritables particules matérielles (ions, électrons, corpuscules). En résumé, malgré les découvertes de phénomènes nouveaux ou d'aspects imprévus dans les phénomènes anciens, « les cadres ne sont pas rompus ; les rapports que nous avons reconnus entre des objets que nous croyions simples, subsistent encore entre ces mêmes objets quand nous connaissons leur complexité, et c'est cela seul qui importe. Nos équations deviennent de plus en plus compliquées, c'est vrai, afin de serrer de plus près la complication de la nature ; mais rien n'est changé aux relations qui permettent de déduire ces équations les unes des autres. En un mot la forme de ces équations a résisté¹. »

« De ce rapide exposé, que conclurons-nous ? Tout compte fait, on s'est rapproché de l'unité ; on n'a pas été aussi vite qu'on l'espérait il y a cinquante ans, on n'a pas toujours pris le chemin prévu ; mais, en définitive, on a gagné beaucoup de terrain². »

D'ailleurs, et cette affirmation de Poincaré est capitale, pour indiquer nettement la position qu'il prend, *le progrès vers l'unité est une condition nécessaire de la possibilité de la science*³.

Cette constatation des progrès de la thèse essentielle du mécanisme traditionnel, l'unité des phénomènes naturels

1. *Id.*, p. 210, 211, 191, et *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 291.

2. *Science et hypothèse*, p. 212.

3. POINCARÉ (*Science et hypothèse*, p. 202, 203) a remarqué que deux tendances inverses se manifestent dans l'histoire du développement de la physique : une tendance vers l'unité, par la découverte de liens nouveaux entre des phénomènes épars, une tendance vers la discrimination par la découverte de phénomènes nouveaux qui viennent rompre certains liens présumés. De ces deux tendances inverses, laquelle l'emportera ? « Si c'est la première, la *Science est possible*. » (p. 203.)

et de leurs lois, est renforcée encore dans l'exposé de Poincaré par les progrès continus qu'il se plaît à noter dans les théories particulières : comme il nous le montre, elles se complètent sur leurs bases primitives ; elles ne s'écroulent jamais pour céder la place à d'autres, totalement différentes ¹.

3. — Si Poincaré s'accorde avec la tradition sur la thèse de l'unité de la nature, il est forcé de s'accorder avec elle sur une thèse plus essentielle encore : la réduction progressive de la qualité à la quantité. La qualité est logiquement spécifique. Des qualités ne peuvent pas sans absurdité se réduire. Elles ne se réduisent que lorsqu'on les considère comme les apparences hétérogènes d'une homogénéité fondamentale.

La qualité pure, l'impression sensible individuelle est intransmissible ; la science qui a pour but essentiel une construction identiquement intelligible pour tous, doit donc éliminer le qualitatif, l'individuel, des phénomènes auxquels elle s'applique. Elle le fait en prenant pour objet non le phénomène lui-même, l'individu, ce qui n'existe que par certaines propriétés qualitatives, mais les relations entre les phénomènes. Or, toute relation est avant tout du domaine de la quantité. Les relations, en effet, en tant que relations pures, sont homogènes les unes aux autres, commensurables les unes avec les autres, puisque la mathématique, science de la quantité, est aussi, et mieux, définie la science de l'ordre, donc de la relation. Une relation est toujours représentable quantitativement, et en tant que quantité, elle est, par définition, homogène à toutes les autres quantités. Poincaré admet donc logiquement que l'unité de la nature postulée par les sciences physico-chimiques n'a qu'un sens possible : la réductibilité des phénomènes physico-chimiques les uns aux autres, par suite leur homogénéité. Or, on ne peut concevoir comme homogène que ce qui est quantitatif. Il faut donc éliminer ce qu'il y a de qualitatif dans les différentes sensations qui nous font connaître la nature, ne retenir que ce qu'il est

1. *Science et hypothèse*, p. 210.

possible d'exprimer quantitativement, c'est-à-dire les relations de ces sensations.

Réduction du qualitatif au quantitatif, de l'hétérogène à l'homogène, voilà encore un des caractères nécessaires des sciences physico-chimiques dans la conception de Poincaré¹ : N'est-ce pas aussi un des traits distinctifs, le postulat spécifique de la conception classique ? Par là, l'une rentre indéniablement dans l'autre ; et la conception de Poincaré, malgré son originalité indéniable, doit être considérée comme une manifestation de l'esprit général qui a animé la science depuis la Renaissance. Par là, encore, cette théorie avec toutes les théories contemporaines des physiciens s'oppose sans compromis et sans détour aux tendances à ne voir rien de réel en dehors de la qualité pure, à faire de la science ce relativisme immodéré qui confine, logiquement, sinon dans la pratique, à un véritable scepticisme.

La science n'est pas seulement une règle d'action ; la science est aussi *science*, c'est-à-dire elle fait *savoir*. Et elle n'est règle d'action que parce qu'elle est précisément connaissance objective. Elle ne nous sert que dans la mesure où elle nous permet de prévoir. Or, si elle prévoit, c'est qu'elle voit. Grâce à elle, nous savons, nous voyons *du réel* quelque chose que nous n'aurions pas su, que nous n'aurions pas vu, sans elle².

4. — La science a donc une valeur explicative. Certes, elle ne prétend pas, elle ne prétend plus, comme le mécanisme traditionnel, la conception ambitieuse de Newton ou de Clarke, reproduire les lois éternelles de l'absolu. Scientifiquement, le mot absolu est un mot vide de sens. Poincaré se garderait de le restaurer. Mais dans les limites de la connaissance humaine, la science a une valeur objective. Le mécanisme traditionnel prétend que de toutes nos connaissances, aucune ne la dépasse en objectivité et en valeur explicative ; Poincaré le prétend aussi.

La science est avant tout un système de relations. Elle classe les phénomènes naturels en un certain nombre de

1. *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 289.

2. *Id.*, p. 266.

groupes par leurs similitudes. Dans chaque groupe, ce que l'on a dit d'un phénomène pourra se répéter identiquement de tous les autres : ce sera la formule d'une loi naturelle, d'une relation constante et réelle. Cette classification naturelle, fin de la science, et dont Poincaré a donné avant Duhem l'indication, est bien, non seulement un instrument de description exacte, mais encore une explication, au sens humain du mot explication : elle permet de prédire à partir de certains phénomènes d'autres phénomènes; elle déduit les phénomènes les uns des autres, grâce à des formules de réduction. Elle est la preuve qu'il y a de la *nécessité* dans la nature et que les lois physiques ne sont pas contingentes. Ce déterminisme physique nous amène directement à l'objectivité de la physique ¹.

Qu'entend-on, en effet, par objectif et par objet ? On entend précisément par le premier mot ce qui se rapporte à des relations entre les phénomènes, et par le second ces relations elles-mêmes. Est subjectif, apparent, illusoire, tout ce que les phénomènes (c'est-à-dire les combinaisons complexes de sensations qui composent nos perceptions) ont de fuyant, d'insaisissable, de qualitatif, de purement individuel, ce qui est intransmissible d'un sujet à l'autre, ce qu'un autre sujet ne verra point comme le premier l'aura vu. L'objet, au contraire, c'est ce que tous les sujets percevront de même, les rapports universels, indépendants des nuances indéfinissables dont les revêtent les imaginations de chacun.

Mais la physique repose, dans l'analyse que l'on vient de suivre jusqu'à son terme, sur ces rapports : elle en est l'énoncé dans la langue la plus claire, la plus intelligible, ce qui veut dire la plus aisée à transmettre, la plus com-

1. *Id.*, p. 287. POINCARÉ cherche (p. 281 à 288) les divers sens du mot contingent, et ce qu'il faut entendre par *nécessaire*. De ce fait que les physiciens, bien qu'admettant que toute loi n'est qu'approchée, constatent que la loi *approche* de plus en plus, et que la nature est constituée par des faits qui se répètent à peu près identiquement, par des relations, des séquences semblables, il conclut que la nature physique constitue un déterminisme et que les lois physiques sont nécessaires.

mode (au sens que Poincaré a donné à ce mot). La physique est donc de tout ce que nous sentons, percevons, connaissons, ce qu'il y a de plus objectif¹.

Son objectivité est précisément la même que « notre croyance aux objets extérieurs ». « Ces derniers sont réels en ce que les sensations qu'ils nous font éprouver nous apparaissent comme unies entre elles par je ne sais quel ciment indestructible et non par un hasard d'un jour. De même la science nous révèle entre les phénomènes d'autres liens plus ténus mais non moins solides. Ce sont des fils si déliés qu'ils sont restés longtemps inaperçus, mais dès qu'on les a remarqués, il n'y a plus moyen de ne pas les voir ; ils ne sont donc pas moins réels que ceux qui donnent leur réalité aux objets extérieurs. Peu importe qu'ils soient plus récemment connus puisque les uns ne doivent pas périr avant les autres². »

« En résumé, la seule réalité objective, ce sont les rapports des choses d'où résulte l'harmonie universelle. Sans doute ces rapports, cette harmonie ne sauraient être conçus en dehors d'un esprit qui les conçoit ou qui les sent. Mais ils sont néanmoins objectifs parce qu'ils sont, deviendront ou resteront communs à tous les êtres pensants³ ».

« D'ailleurs, tout ce qui n'est pas pensée est le pur néant ; puisque nous ne pouvons penser que la pensée et que tous les mots dont nous disposons pour parler des choses ne peuvent exprimer que des pensées ; dire qu'il y a autre chose que la pensée, c'est donc une affirmation qui ne peut avoir de sens.

« Et cependant — étrange contradiction pour ceux qui croient au temps — l'histoire géologique nous montre que la vie n'est qu'un court épisode entre deux éternités de mort, et que, dans cet épisode même, la pensée consciente n'a duré et ne durera qu'un moment. La pensée n'est qu'un éclair au milieu d'une longue nuit. Mais c'est cet éclair qui est tout⁴. »

1. *Revue de Métaphysique*, mai 1902, p. 290.

2. *Id.*, p. 292.

3. *Valeur de la science*, p. 271.

4. *Id.*, p. 275.

LIVRE IV

LES CONTINUATEURS DU MÉCANISME LES HYPOTHÈSES FIGURATIVES

CHAPITRE PREMIER

Généralités

1. Alors que le mécanisme subissait les critiques dont on vient de retracer l'histoire, la plupart des découvertes nouvelles de la physique étaient dues aux hypothèses mécanistes, au sens général du mot, et celui-ci ralliait encore presque tous les savants de laboratoire. — 2. Opinion de *Kirchhoff*, *Helmholtz*, *Du Bois-Reymond*, *Maxwell*, *lord Kelvin*, etc. — 3. Définition provisoire du terme : hypothèse mécaniste et mécanisme, dans la physique contemporaine. — 4. Pourquoi l'esprit mécaniste peut être considéré encore comme représentant l'esprit général qui anime les travaux des physiciens proprement dits : la critique du mécanisme a été, en effet, l'œuvre des mathématiciens et des mécaniciens ; elle est donc faite d'un point de vue extra-physique. — 5. Raison de ce fait : l'intime union ; à l'époque actuelle de la physique et de la mathématique. .

On vient de parcourir la critique de la physique traditionnelle. Quelles que soient les tendances particulières qui guident ses principaux auteurs, on peut dire qu'elle maintient par ses conclusions l'objectivité de la physique dans les limites de l'expérience, et la continuité du développement scientifique. Elle conclut à un positivisme expérimental en même temps qu'à la légitimité de la physique mathématique, à la possibilité d'une organisation rationnelle des résultats empiriques. La critique de la science physique

dans la seconde moitié du ^{xix}^e siècle n'est que le développement des tendances générales de la science moderne. Elle apporte, en somme, à la physique classique les modifications qui paraissent nécessaires à son progrès, les corrections réclamées pour avancer plus loin, mais dans la même direction générale. C'est dans ce sens que la critique a attaqué le mécanisme ou mis en garde contre lui.

Les résultats de la critique ont été très importants ; ils ont encore été amplifiés par le bruit énorme que l'on a fait autour d'elle. On l'a exploitée, habilement contre l'esprit moderne, contre la science dont on a voulu discréditer la valeur objective pour des préoccupations d'ordre social. Au bénéfice du fidéisme, on l'a répandue dans le grand public, en taisant tout ce qui, dans son œuvre même, eût pu y faire un contre-poids. Malgré tout, l'historien est obligé de constater que la grande majorité des physiciens, la presque unanimité des travailleurs de laboratoire sont restés fidèles au mécanisme.

Il ne paraît pas que les critiques des philosophes et des littérateurs, voire les réserves des mathématiciens ou des physiciens réformateurs, aient beaucoup troublé leur quiétude. Il faut ajouter que cette quiétude avait sa raison d'être, car la physique continuait ses découvertes, et par celles-ci son action objective sur la nature ; presque tous les découvreurs et les techniciens de valeur se trouvaient être mécanistes. A mesure qu'on parlait, soit de la faillite de la conception traditionnelle de la science depuis la Renaissance, soit des dangers du mécanisme pour cette science elle-même, les physiciens, en partant d'hypothèses mécanistes avouées, en cherchant une théorie mécanique des phénomènes ou une systématisation mécaniste de la nature, ajoutaient tous les jours à l'acquis scientifique. Et il n'y avait à peu près qu'eux seuls pour y ajouter, si bien que l'histoire du mécanisme, c'est encore, sauf des exceptions rares et bien partielles, l'histoire de la physique.

Seulement l'impartialité historique — et à son défaut le simple bon sens — forcent d'un autre côté à constater que le mécanisme est allé se transformant, et évoluant à son

tour, comme le contenu de la physique lui-même, au fur et à mesure des découvertes qu'il créait. C'est cette histoire et cette évolution qu'il importe maintenant de retracer dans ses grandes lignes.

2. — Kirchhoff disait dans son ouvrage : *Über das Ziel der Naturwissenschaften* (le but des sciences de la nature), en 1865, que les sciences de la nature visent un but qu'elles n'atteindront peut-être jamais : déterminer à un moment donné, en grandeur et direction toutes les forces présentes dans la nature, et l'état de la matière. Tous les phénomènes passés et à venir, l'histoire de l'univers, s'en pourraient alors déduire avec rigueur. En un mot, Kirchhoff proposait comme but à la science de la nature : sa réduction à la mécanique ; former un système dont les principes de la mécanique seraient la base¹.

A peu près à la même époque (1869), Hemholtz proclamait que la tendance générale des sciences de la nature, leur fin essentielle et propre, est de trouver les mouvements auxquels se ramènent tous les autres changements. Elles doivent peu à peu se fonder sur la mécanique et seulement sur la mécanique².

Ces deux déclarations sont significatives, parce qu'on ne peut pas accuser Kirchhoff et Helmholtz d'intransigeance mécaniste. Bien au contraire, ils ont toujours critiqué avec scrupule les fondements de la mécanique et de la physique, et accueilli avec complaisance les attaques contre le mécanisme atomique. Mais ces témoignages sont d'autant plus probants que tout en faisant leurs la plupart des attaques contre le mécanisme traditionnel, ils ont cru pouvoir y remédier sans rompre avec la tradition mécaniste, mais simplement en l'élargissant, et en la faisant progresser dans sa voie normale. C'est à un mécanisme entendu dans un sens plus souple, plus phénoméniste, plus théorique, qu'ils appellent d'un mécanisme jugé insuffisant et trop métaphysique, trop réaliste.

1. KIRCHHOFF, *Über das Ziel Naturwissenschaften*, passim., tr. fr., p. 9 et 23 sq.

2. HELMHOLTZ, *Populärwiss. Vorl.* vol. I, p. 92 sq.

Du Bois-Reymond a dit plus récemment (1881) :

« La science naturelle ou, pour parler plus exactement, la connaissance scientifique de la nature, ou la connaissance du monde matériel avec l'aide et dans le sens de la physique théorique, est une réduction des changements du monde matériel à des mouvements d'atomes causés par des forces centrales indépendantes du temps, c'est-à-dire une réduction des phénomènes de la nature à la mécanique atomique. C'est un fait d'expérience psychologique que toutes les fois qu'une telle réduction est effectuée avec succès, notre besoin de causalité est, pour le moment, complètement satisfait. Les propositions de la mécanique peuvent se ramener à la forme mathématique, et portent en elles-mêmes la certitude apodictique qui appartient aux propositions des mathématiques. Quand les changements dans le monde matériel ont été réduits à une somme constante d'énergie potentielle et motrice inhérente à une masse constante de matière, il ne reste plus rien à expliquer dans ces changements.

« L'assertion de Kant, dans la préface des *Fondements métaphysiques de la science de la nature*, que « chaque branche des sciences physiques ne contient de science proprement dite que ce qu'il y a de mathématiques », doit être précisée en substituant « mécanique atomique », à « mathématiques ». C'était évidemment sa propre pensée quand il refusait le nom de science à la chimie. C'est un fait curieux à remarquer que, de notre temps, la chimie, depuis qu'elle a été contrainte par la découverte des substitutions, à délaisser le vieux dualisme électro-chimique, a fait en apparence un pas en arrière dans sa marche vers la science ainsi conçue. *La résolution de tous les changements dans le monde matériel en mouvements d'atomes causés par leurs forces centrales constantes serait le complément de la science naturelle*¹. »

Certes, Du Bois-Reymond a été l'un des plus ardents à proclamer la relativité de la connaissance. Le mécanisme

1. Cité par STALLO : *La matière et la Physique moderne*, p. 6 et 7.

qu'il considère comme le fondement nécessaire des sciences de la nature a donc un sens phénoméniste. Il ne prétend point donner la constitution absolue de la matière, et résoudre les problèmes métaphysiques relatifs à l'essence dernière de cette matière. Il n'est pas un savant qui soutiendrait le mécanisme en ce sens que lui donnaient volontiers les spiritualistes comme les matérialistes du xvi^e, du xvii^e, du xviii^e et de la première moitié du xix^e siècle. Du Bois-Reymond va même plus loin. Non seulement, il pense que le mécanisme est une réduction qui n'intéresse que le monde des phénomènes, qui n'a de valeur que dans ce monde apparent et relatif, mais encore il croit que la tentative mécaniste a des limites, et qu'il est possible qu'elle ne puisse être étendue à tous les phénomènes. Mais ce ne serait pas dans ce cas la nature des phénomènes qui rendrait cette tentative impossible : ce serait seulement la faiblesse de notre esprit, les limites de l'intelligence humaine. Le mécanisme reste en droit la formule universelle vers laquelle tend la science physique.

Clerk Maxwell donne comme titre à deux articles publiés en 1875¹ et dans lesquels il résume ses idées générales sur la physique : « De l'évidence dynamique de la constitution moléculaire des corps. » Il y soutient une hypothèse atomique et mécaniste : Tout phénomène physique peut être amené à un changement dans la configuration d'un système matériel. Ce changement dans la configuration d'un système matériel ne peut être conçu que sous la forme d'un certain nombre de mouvements des parties élémentaires de ce système, mouvements qui en altèrent la position réciproque, et dont la résultante est le changement de la configuration du système. Ces mouvements particuliers ne peuvent qu'être l'effet de forces appliquées à chacun des éléments du système ou au système tout entier. Par force il faut n'entendre, évidemment, qu'une donnée empirique. Lorsque tous les aspects que présente un phénomène physique peuvent être déduits de la configuration

1. On the dynamical evidence of the molecular constitution of Bodies : *Nature*, 4 et 11 mars 1875.

et du mouvement d'un système matériel, on dit que son explication est complète : « Nous ne pouvons pas concevoir qu'une explication ultérieure soit nécessaire ou possible, car dès que nous savons ce que signifient les mots configuration, masse et force, nous voyons que les idées qu'ils représentent sont si élémentaires qu'elles ne peuvent pas être expliquées par autre chose. »

Lord Kelvin dit pareillement, dans une conférence sur la Constitution moléculaire de la matière, prononcée en 1889, à la Société royale d'Edimbourg : « C'est l'opinion *pratiquement unanime* du monde scientifique que toute la matière tangible ou palpable, la matière massive (*molar*), comme nous pourrions l'appeler, est formée de groupes de molécules ou d'atomes agissant les uns sur les autres ¹.

« La théorie cinétique des gaz, bien connue aujourd'hui, constitue un si grand pas dans la voie qui conduit à expliquer par le mouvement des propriétés en apparence statiques de la matière, qu'on peut difficilement s'empêcher de pressentir la création d'une théorie complète de la matière, dans laquelle toutes ses propriétés apparaîtront comme de simples attributs du mouvement ². » « Le titre seul du beau livre du D^r Tyndall, *La chaleur, mode de mouvement*, est l'enseignement d'une vérité et a répandu de tous côtés à travers le monde une des plus grandes découvertes de la philosophie moderne ³. »

On pourrait multiplier, sans autre avantage qu'une fastidieuse répétition, des affirmations analogues, et l'on aurait cité tout ce que la physique a compté de noms célèbres dans la dernière moitié du xix^e siècle. Il vaut mieux analyser en quoi consiste la construction mécaniste actuelle, et quelles sont les tendances que l'on peut indiquer comme ses tendances essentielles et caractéristiques. Cette analyse a été faite bien souvent ; elle ne paraît pas avoir été faite d'une façon suffisamment objective,

1. Sir W. THOMSON : (Lord Kelvin) *Conférences scientifiques*, tr. fr., p. 312.

2. *Id.*, p. 142.

3. *Id.*, p. 93.

c'est-à-dire embrassant dans sa description tous les cas particuliers des théories mécanistes.

3. — Il faut d'ailleurs prévenir tout malentendu sur ce point. Je ne dis pas que tous les physiciens soient restés asservis à la formule traditionnelle du mécanisme dans toute la première moitié du xix^e siècle. Ce serait dire que la physique a traversé une singulière crise de stérilité, alors qu'au contraire, jamais période ne fut plus féconde en découvertes que ces dernières cinquante années. Je veux simplement dire que la plupart des physiciens, tout en amendant constamment et en élargissant selon les exigences des nouvelles acquisitions expérimentales les schèmes mécaniques, sont restés fidèles aux principes scientifiques du mécanisme. De même que la physique mécaniste de la première moitié de xix^e siècle ne ressemble pas à la physique mécaniste du xviii^e siècle, et celle-ci fort peu à la physique mécaniste de Descartes, ainsi la physique mécaniste contemporaine ne ressemble pas davantage à la physique mécaniste de la première moitié du xix^e siècle. Mais elle est restée mécaniste. Sous la diversité des schèmes et des représentations, il faut discerner la tendance générale.

Le mécanisme ne cherche plus à donner une figuration *ne varietur* de son objet. Il se présente, au contraire, essentiellement comme une méthode de recherche, de découverte et de progrès. Tout ce à quoi le mécanisme prétend, c'est au droit d'user de représentations figuratives, modifiables, bien entendu, à mesure que la nature se révèle à nous d'une façon plus complète. Tout ce qu'il postule, c'est que les phénomènes physico-chimiques doivent être systématisés en continuité avec les éléments et les lois de la mécanique, quelle que soit la forme de cette systématisation, et les remaniements nombreux qu'exigera l'avenir. La physique mécaniste ne réclame pas l'unité actuelle d'un schème mécanique ; elle réclame le droit de se servir de schèmes mécaniques, pour l'interprétation et la systématisation des phénomènes physico-chimiques ; et elle pose que la systématisation de ces phénomènes sera nécessairement

en dernière analyse, une formule figurative. Pour résumer : en partant du mouvement et des notions qu'il suggère, c'est-à-dire des notions dont la mécanique a commencé l'étude, et en les compliquant convenablement, on doit arriver à représenter l'objet de la physique dans sa totalité. Continuité des phénomènes physiques et des phénomènes mécaniques, par suite entière représentabilité des phénomènes physiques à l'aide du mouvement, *cinétisme*, dans toute l'ampleur étymologique du terme : voilà les caractères de la physique classique, de la physique depuis la Renaissance, de l'esprit de la presque totalité des physiciens et des chimistes contemporains.

4. — Il faut remarquer, en effet, que les critiques qui, tout en laissant debout d'une manière ou d'une autre l'objectivité des lois physico-chimiques, attaquaient l'objectivité des schèmes mécanistes, ont été surtout des mathématiciens ou des mécaniciens, c'est-à-dire étant donné l'état actuel de la mécanique, encore des mathématiciens. Ceux qui, parmi ces critiques, pourraient prétendre par certains de leurs travaux au titre de physiciens, ont fait à peu près uniquement de la physique mathématique, c'est-à-dire ont cherché la possibilité d'une théorie mathématique des phénomènes physiques. Il semble qu'à traiter d'ordinaire d'une science où l'objet, au moins en apparence, est créé par l'esprit du savant, où, en tout cas, les phénomènes concrets n'ont plus à intervenir dans la recherche, on se soit fait de la science physique une conception trop abstraite : on a cherché à la rapprocher toujours plus près de la mathématique, et on a transposé une conception générale de la mathématique dans une conception générale de la physique. Presque constamment, on a le sentiment d'une extension hors de ses limites propres, d'une extension par conséquent exagérée, sinon illicite, de l'idée qu'on a de la mathématique, à l'idée qu'on se fait de la physique. La physique ne ressemble-t-elle pas alors à ce que l'on voudrait qu'elle fût, ou à ce que l'on croit qu'elle est ? et non à ce qu'elle est ? C'est ce que répondraient, c'est, on va le voir, ce que répondent en fait,

Milhaud, bien qu'il soit lui-même mathématicien, ne fait-il pas à peu près cette objection à Poincaré à propos de l'ouïe des physiciens et les chimistes de laboratoire, qui se rattachent presque tous au mécanisme.

vfrage de ce dernier : *La Science et l'hypothèse* : « Une chimère qui ne se montre pas, mais qui se devine, y trouble la vue de l'esprit : c'est celle d'une nécessité absolue, apodictique, s'offrant et s'imposant d'elle-même... Dans ses efforts pour constater qu'il n'atteint d'aucune manière à la nécessité absolue, M. Poincaré donne le sentiment qu'il y songe toujours... On sent qu'il garde au fond de sa pensée comme une sorte d'étalon idéal, près duquel les énoncés ordinaires de la science semblent suspendus dans le vide. Comme ils ne s'imposent pas d'eux-mêmes avec cette nécessité absolue que l'on rêve..., l'ombre de la chimère inaccessible conduit à déprécier la valeur de cet assentiment, de cette décision, comme si l'objectivité devait en être diminuée de tout ce que l'esprit apporte de lui-même à la place de l'absolu qui ne vient pas. Et voilà pourquoi M. Poincaré dépouillera si aisément de *vérité* les définitions fondamentales de la science ; voilà pourquoi il nous amènera — malgré ses efforts pour s'y opposer — à douter de leur objectivité ¹. » Il y a là une invasion de l'esprit mathématique dans les façons de juger et de comprendre la physique, que dénoncent tous les expérimentateurs. Et n'est-ce pas à cette influence, qui, pour être cachée, n'en est pas moins prépondérante, qu'est due parfois l'incertitude, l'hésitation de la pensée sur l'objectivité de la physique, et les détours que l'on prend, ou les obstacles que l'on surmonte pour la mettre en évidence. Les fictions abstraites de la mathématique semblent avoir interposé un écran entre la réalité physique et la façon dont les mathématiciens comprennent la science de cette réalité. Ils sentent confusément l'objectivité de la physique, ses rapports étroits avec l'expérience, mais ils sont obligés, à cause de la façon même dont subjectivement la question se présente

1. *Revue de Métaphysique*, novembre 1903, p. 787, 788.

à eux, d'imaginer pour les retrouver une analyse embarrassée et difficile.

Bien qu'ils veuillent être avant tout objectifs, lorsqu'ils s'appliquent ensuite à la physique, bien qu'ils cherchent à prendre et à garder pied dans le réel, ils restent hantés par leurs coutumes antérieures. Et jusque dans la conception énergétique qui a voulu construire plus solidement et avec moins d'hypothèses que le mécanisme, qui a cherché à décalquer l'univers sensible et non à le reconstruire, on a toujours affaire à des théories de mathématiciens, ou tout au moins à des théories fondées pour donner raison aux critiques adressées par les mathématiciens. Ils ont tout fait pour sauver l'objectivité sans laquelle ils comprennent très bien qu'on ne peut parler de physique. Leur subtilité et leur ingéniosité logiques y sont parvenues théoriquement. Mais les complications ou les détours de leurs théories laissent pourtant un malaise. Cela est trop fait ; cela a été cherché, édifié ; un expérimentateur n'y sent pas la confiance spontanée que le contact continuél avec la réalité physique lui donne en ses propres vues. On reconnaîtra toujours que l'inspiration mathématique a passé par là.

5. — Voilà ce que disent en substance — et ils sont légion, — tous les physiciens qui sont avant tout physiciens ou ne sont que cela, et toute l'école mécaniste. Si une crise de la physique a semblé se produire dans ces derniers temps, si la tradition que l'on suivait depuis la Renaissance a paru devoir être rompue partiellement ou même totalement, surtout pour ceux qui voyaient les choses de très loin et d'un point de vue très extérieur, si, en tout cas, le mécanisme a été critiqué et battu en brèche alors que jusque-là il formait comme l'atmosphère nécessaire à la vie de la science physique, il n'est pas besoin d'aller en chercher ailleurs la cause et l'explication. Elle est dans la conquête du domaine de la physique par l'esprit mathématique. Les progrès de la physique, d'une part, et les progrès de la mathématique d'autre part ont amené au xix^e siècle une fusion étroite entre ces deux sciences. La physique a posé à la mathématique la plupart des pro-

blèmes nouveaux qu'elle a eus à résoudre. Elle lui a indiqué où elle devait porter ses recherches et de quel côté elle avait à s'étendre si elle voulait être utile. D'autre part, la mathématique a rendu à la physique d'immenses services. Elle lui a fourni, par ses méthodes, ses procédés, et nombre de ses résultats dans l'analyse, algébrique ou géométrique, par l'étude de certaines fonctions, une langue d'une merveilleuse souplesse, et qui a permis de mettre en évidence des analogies fécondes, par la symétrie rationnelle qu'elle inspirait aux formules.

Ajoutez à cela que dans les applications techniques, la mathématique a été d'une fort grande ressource, qu'elle a permis une utilisation facile et précise, par l'ingénieur, des lois découvertes par le savant. On comprend alors toute l'importance de la mathématique pour la physique, et comment celle-ci a dû de plus en plus s'adresser à elle, par suite se rapprocher d'elle dans sa manière d'être générale.

Les personnes qui se lient d'une façon très intime finissent, dit-on, par se ressembler, l'une d'entre elles prenant toujours une influence prépondérante et modelant en quelque sorte les autres sur elle-même. Il en est allé de même pour la physique et la mathématique. Et comme en face des inductions, des hypothèses, des tâtonnements de la physique, la mathématique s'imposait par son long passé, sa logique, sa clarté, son intelligibilité, sa certitude et sa rigueur, comme elle était la science exacte, la science parfaite, qu'envient les autres sciences, la physique, surtout entre les mains de savants dont toute l'éducation antérieure était mathématique, s'est modelée sur la mathématique.

A côté de la physique expérimentale, reposant sur elle, la continuant, de tout temps avait existé la physique théorique. On ne les distinguait même pas dans la réalité, car il n'y a point, on l'a dit souvent, d'expérience sans théorie, sans construction logique, idées préconçues, hypothèse, généralisation, systématisation. La théorie faisait corps avec l'expérience : elle en était la généralisation spontanée et nécessaire ; elle était, pour le dire d'un mot, l'induction fondée sur l'expérience. Et la synonymie que

l'on a toujours établie entre méthode inductive et méthode expérimentale marque bien cette fusion intime, cette unité qui longtemps mêlèrent physique expérimentale et physique théorique. Mais la théorie ayant besoin d'un langage précis, en alla chercher le modèle dans le langage précis de la mathématique. La théorie, par la force même des progrès de la science, devenant chaque jour plus abstraite, plus conceptuelle dans ses généralisations successives, se trouva rapprochée naturellement par sa forme, son allure générale, de la mathématique. La physique théorique devint la physique mathématique. Dans cette transformation, elle ne perdit pas immédiatement contact avec la réalité expérimentale. Avec les Newton, les Lagrange, les Laplace, les Poisson, avec le mécanisme du XVIII^e et de la première moitié du XIX^e siècle, avec la période déductive, pour employer la terminologie de Mach, les *éléments* de la théorie mathématique restaient empruntés *directement* à l'expérience. C'étaient des données expérimentales ou *soi-disant telles*. En tout cas, on se les représentait comme des *éléments réels*, des *choses*, des faits. La théorie quoique formulée mathématiquement restait inductive dans son développement général. Elle procédait par déduction, c'est vrai, mais par déduction généralisatrice, par généralisation progressive. On ne déduisait pas, comme dans l'énergétique, en particulierisant une formule générale primitive. On composait, au contraire, de proche en proche, les cas complexes avec les cas plus simples ; on construisait le complexe, en le tirant du plus simple, à peu près comme la géométrie synthétique d'Euclide forme ses notions complexes par une construction dont tous les éléments sont tirés des notions plus simples. Ainsi procède encore l'analyse moderne quand par généralisations progressives, et pourtant deductives, elle se construit sur l'unique notion du nombre entier.

Les éléments de la théorie, ses fondements, restaient donc des données réelles et objectives, et conféraient par suite leur objectivité à toute la construction dont ils étaient l'unique matériel.

Mais peu à peu, les développements de la physique mathématique la spécialisèrent, car ils exigeaient des spécialistes, des mathématiciens et des analystes. Alors commença la période formelle, c'est-à-dire la physique mathématique, purement mathématique, la physique mathématique, non plus branche de la physique, si on peut ainsi parler, mais branche de la mathématique, cultivée par des mathématiciens. Nécessairement dans cette phase nouvelle, le mathématicien habitué aux éléments conceptuels qui fournissent la seule matière de son œuvre, gêné par les éléments grossiers, matériels, qu'il trouvait peu malléables, dut tendre toujours à en faire le plus possible abstraction, à se les représenter d'une façon tout à fait immatérielle et conceptuelle, ou même à les négliger complètement.

Les éléments, en tant que données réelles, objectives, et pour tout dire, en tant qu'éléments *physiques* disparaurent finalement. On ne garda que des relations formelles représentées par les équations différentielles. Il n'y eut plus d'objectif et de réel que des rapports; rien ne rappelle la physique sinon les lois physiques que, dans un autre monde, découvriraient les expérimentateurs. Certes, à qui se donne la peine de suivre la filière, depuis le laboratoire du physicien jusqu'au cabinet du mathématicien, cela est un fondement et un garant suffisants d'objectivité. La physique mathématique est bien de la physique. Mais si on se préoccupe peu de cette filière, ou si, se hâtant de prendre les résultats, on néglige la voie par laquelle on les a trouvés, on ne voit plus dans l'expression double de physique mathématique que son second terme. Et si le mathématicien n'est pas dupe de son travail constructif, si, lorsqu'il analyse la physique théorique telle qu'elle sort de son cerveau, il sait bien retrouver ses attaches à l'expérience, et sa valeur objective, à première vue, et pour un esprit non prévenu, on croit se trouver en face d'un développement arbitraire.

L'aspect inductif disparaît aussi. Les éléments primordiaux deviennent des principes abstraits, des formes extrêmement générales. Le concept, la notion a remplacé par-

tout l'élément réel. La théorie n'est pas fondée sur les faits ; déduction parfaite, elle développe une formule et n'a plus d'autres conditions limites que le principe de contradiction, partant, semble-t-il, plus d'autre certitude que la certitude logique.

Ainsi s'expliquent historiquement, par la forme mathématique qu'a prise la physique théorique, par l'importance même de cette physique mathématique, par ce fait qu'elle est tombée dans le domaine presque exclusif du mathématicien, enfin par les remaniements que ce dernier a dû faire subir à la théorie physique, le malaise, la crise de la physique, et son éloignement apparent des faits objectifs.

CHAPITRE II

Les traits fondamentaux du mécanisme actuel ¹

I. — *Le rôle de l'expérience.*

1. Continuité directe et immédiate de l'expérience et de la théorie. — 2. Possibilité de l'expérience cruciale dans toutes les hypothèses physiques acceptables. — 3. Le mécanisme n'a pas besoin de chercher à prouver l'objectivité de la physique.

II. — *Les principes de la physique.*

4. La généralisation et la nature des principes. Ils sont le décalque de l'expérience. — 5. L'existence d'hypothèses contradictoires, loin d'être une objection à cette vue, en est au contraire une confirmation : méfiance du raisonnement. — 6. *La validité des principes de la physique.* — 7. Ce qui la fonde, c'est au fond l'unité empirique de la nature, quelle que soit la complication incontestable et croissante des apparences superficielles. — 8. Le mécanisme n'en admet pas moins un progrès dans la synthèse mécaniste, non que les principes puissent être complètement renversés, mais parce qu'ils reçoivent de l'expérience des extensions nouvelles ou sont complétés par des principes nouveaux. — 9. En dernière analyse, les principes de la physique sont définitifs, dans les limites où l'expérience les a confirmés ; mais seulement dans ces limites. Définitifs dans leur cercle, ils ne sont pas exclusifs d'autres principes ou de modifications nouvelles, dans un cercle plus large. — 10. *Réalisme des principes* : La théorie physique doit être construite en terme de représentations sensibles, c'est-à-dire au moyen d'éléments réels tirés de

1. *Remarque sur la méthode.* — Il n'est guère possible de suivre pour exposer la théorie mécaniste la méthode qui a été suivie pour les autres conceptions de la physique. Ces conceptions, en effet, avaient été exposées d'une façon explicite par l'un ou par quelques-uns de leurs adeptes. En analysant les travaux de ces savants, il était possible de définir complètement l'esprit général qui animait leurs écoles. Mais avec le mécanisme tout change. D'abord c'est une doctrine plus plastique : on n'en finirait pas à vouloir exposer toutes ses nuances ; ce fait ne doit pas d'ailleurs étonner, étant donné le nombre de ses adeptes. Ensuite, il n'en est à ma connaissance aucun qui se soit proposé de définir et d'exposer entièrement la théorie de la physique mécaniste. Elle paraît si naturelle, la tradition aidant, qu'on ne songe pas à l'analyser.

l'expérience. Ces éléments sont ceux sur lesquels l'expérience nous fait toujours retomber, quand elle s'applique aux phénomènes physiques : *des mouvements*. C'est pourquoi la physique reste en continuité avec la mécanique. — 11. L'« expérimentalisme » du mécanisme. — 12. Exemple tiré des idées de Maxwell sur la chaleur.

III. — *Les éléments figurés.*

13. *Les éléments de la théorie physique.* Leur réalisme : Si les principes sont des données expérimentales, les rapports qu'ils énoncent doivent être supportés par des éléments réels. Ils appellent nécessairement une substructure figurée. — 14. Opposition sur ce point du mécanisme et des doctrines précédemment examinées. Le mécanisme continue directement l'esprit de la Renaissance : l'unité profonde du réel et de l'intelligible. Cette unité à elle seule suffirait à imposer l'emploi d'éléments figurés, dans la théorie. — 15. Ce que sont les éléments objectifs de la théorie physique. — 16. Nominalisme de la théorie mécaniste. — 17. *Homogénéité de la matière.* — 18. Ce n'est pas, comme on le croit souvent, un postulat, mais une conséquence de la doctrine mécaniste. — 19. Le règne de la quantité. Le mathématisme physique. — 20. Quantité et qualité. — 21. Unité de la nature. En quel sens le mécanisme entend cette dernière expression. — 22. *L'Objectivité du mécanisme.* Le mécanisme croit à la *réalité* de la physique théorique, dans le même sens que l'humanité croit à la *réalité* du monde extérieur. — 23. Les *hypothèses* dans le mécanisme : moment *nécessaire* de la méthode ; ce qui a pu faire naître des objections peu fondées contre l'objectivité de la physique mécaniste.

I. — LE RÔLE DE L'EXPÉRIENCE

1. — Le mécanisme est bien fait pour nous mettre en garde contre l'illusion que la physique s'éloignerait de l'expérience. Il se place sur un terrain exclusivement physique et réaliste. Il a bien été obligé, par l'évolution néces-

On conçoit facilement qu'on cherche plutôt à analyser avec soin une théorie quand elle s'écarte de la tradition et même la combat, que lorsqu'elle la continue. D'ailleurs, comme le mécanisme était à peu près l'unique conception de la science physique, jusqu'à notre époque, la critique de la science, c'est-à-dire, jusqu'à cette époque, la philosophie, s'était chargée du soin d'exposer, d'analyser et d'examiner le mécanisme. Les plus grands parmi les physiciens n'ont-ils pas été, au xvii^e et au xviii^e siècles, les plus grands parmi les philosophes ? Descartes, Pascal, Leibniz, Newton, Clarke, Kant... Aussi les mécanistes laissent-ils volontiers aux philosophes la tâche de définir leur esprit général. Et c'est chez les philosophes, ou tout au moins en songeant à eux, qu'il faudra chercher bien souvent les traits fondamentaux du mécanisme scientifique.

saire de la science et par les critiques accumulées contre le vieil atomisme traditionnel, d'amender considérablement ses conceptions générales. Le mécanisme s'est transformé, mais sous ses transformations il a gardé ses caractéristiques essentielles : ce qui lui permet de conserver légitimement son nom de mécanisme.

Ces caractéristiques essentielles peuvent être déterminées en se souvenant des grandes lignes du mécanisme traditionnel, car ce dernier se présente à l'historien comme une doctrine beaucoup plus nette et beaucoup plus simpliste, dans ses traits fondamentaux.

D'abord il pose, et c'est là sa base inébranlable, d'où peuvent se déduire tous ses autres caractères, une *continuité* directe et immédiate entre l'expérience et la théorie. Certes, cette continuité plus ou moins explicite, l'historien la rencontre partout dans les conceptions de la physique théorique. Mais dans toutes celles qui ont été analysées jusqu'ici, une solution de continuité plus ou moins marquée existe entre la théorie et l'expérience. Les exigences de la forme mathématique, on vient de le voir, rendent, pour ces physiciens, la discontinuité nécessaire, et c'est la principale difficulté qu'ils ont à vaincre pour retrouver ensuite le lien non moins nécessaire qui doit exister entre la théorie et l'expérience. Pour emprunter aux logiciens leurs termes, dans toutes les conceptions autres que le mécanisme pur, le lien entre la théorie et l'expérience est synthétique.

Dans le mécanisme au contraire, il est analytique : la théorie tout entière sort de l'expérience, et veut être le décalque de l'objet. C'est l'objet empirique qui la fonde, la modèle, lui donne ses principes, sa direction, son développement pas à pas, ses résultats et sa confirmation. Il n'est rien dans la physique théorique qui ne soit appuyé sur l'expérience, qui n'en soit issu directement et qui ne soit confirmé par elle. On le prétend du moins. Et toute hypothèse si hasardée et générale qu'elle soit sera fondée sur l'expérience, et sera essentiellement une *hypothèse vérifiable*.

Les mécanistes adoptent sur ce point les opinions de

Comte. Toute hypothèse doit être proscrite si une de ses conséquences est infirmée par l'expérience, ou si elle n'est pas elle-même vérifiable par l'expérience. Lorsque l'hypothèse n'est pas vérifiable directement dans son intégrité, elle doit l'être par quelques-unes de ses conséquences. La tâche immédiate du physicien quand il formule une hypothèse, est de chercher les moyens expérimentaux de la vérifier ; et si manifestement l'état actuel des connaissances et des moyens d'action sur les phénomènes physiques ne permet pas d'entrevoir la possibilité d'un procédé expérimental de vérification, il doit, ou rejeter son hypothèse, ou chercher quelque-une de ses conséquences, qui ne puisse être vérifiée que si l'hypothèse, en elle-même invérifiable, est vraie. L'expérience qui vérifiera cette conséquence lorsqu'elle existe, apporte en quelque sorte la garantie qu'une science plus avancée pourra vérifier l'hypothèse elle-même. En tout cas, elle est un haut témoignage en faveur de la plausibilité de cette hypothèse, puisque l'on prend pour accordé que la conséquence vérifiée n'est elle-même possible que dans l'hypothèse en question.

2. — Que l'hypothèse intégralement et directement soit vérifiable, ou qu'une de ses conséquences nécessaires, impossible elle-même dans toute autre hypothèse, le soit et permette ainsi par un choc en retour de poser comme certaine la vérificabilité de l'hypothèse, dans les deux cas une expérience peut être instituée, qui décide de l'admission ou du rejet de l'hypothèse. Cette expérience est ce qu'on appelle, depuis Bacon, *une expérience cruciale*.

L'existence d'une expérience cruciale, ou tout au moins la possibilité de prévoir une expérience cruciale dans le domaine de la physique, est éminemment caractéristique du mécanisme. Cette existence ou cette possibilité montrent que la théorie et l'expérience n'existent pas l'une sans l'autre, qu'elles ont une relation nécessaire, *analytique*. Ce n'est pas en fait que se pose d'abord l'accord de la théorie et de l'expérience ; c'est en droit que la théorie sort de l'expérience et y retourne, et que telle expérience entraîne telle théorie, ou telle théorie, telle expérience. Il y a là une

propriété qui repose sur la nature des choses, c'est-à-dire sur la nature du phénomène, et sur la nature de la science. La théorie traduit l'expérience objective, et cela d'une façon unilinéaire. Il faut dans la science achevée que l'ensemble de l'expérience soit représenté par une théorie et une seule.

3. — La question de prouver l'objectivité de la physique ne se pose même pas ici. L'objectivité de la physique est le point de départ, le postulat nécessaire. Le moindre doute sur ce point, la moindre incertitude, la plus petite part de contingence, et l'on sort du mécanisme. La physique pour le mécanisme est objective ou elle n'est pas. Ou plutôt, comme bien entendu, il s'agit de la physique idéalement conçue comme achevée, débarrassée grâce à l'expérience de toutes les hypothèses fausses, et transformée en une théorie universellement vérifiée, la physique *sera* objective ou *elle ne sera pas*.

On se sent ici loin des détours par lesquels on était obligé de passer dans les autres conceptions de la physique pour arriver à poser cette même objectivité.

II. — LES PRINCIPES DE LA PHYSIQUE

4. — Aussi le mécanisme répugne-t-il à toute généralisation qui ne serait qu'une vue de l'esprit. Toute généralisation doit être conçue sous l'impulsion directe et en quelque sorte nécessaire de l'expérience. On doit généraliser quand l'expérience ne nous permet pas de faire autrement, quand la nature généralise presque pour nous. Une bonne généralisation, qui n'est pas une fiction dangereuse de l'imagination, sera l'extension naturelle que présente l'expérience elle-même lorsqu'on la fait varier.

Quand elles disaient généralisation, les théories jusqu'ici examinées disaient extension donnée par l'esprit, modification apportée par l'esprit, abstraction, rectification, altération, correction¹. Faut-il rappeler que tous les psy-

1. « Ainsi on ne se borne pas à généraliser l'expérience, on la corrige. » (POINCARÉ, *Science et hypothèse*, p. 170).

chologues proclament le pouvoir créateur de l'esprit dans la généralisation ? Ce pouvoir créateur, les théories précédentes admettaient toutes, et la philosophie contemporaine souvent encore renchérit sur elles, qu'il subsiste sans frein dans les généralisations physiques. Le mécanisme s'inscrirait en faux contre cette assertion, non qu'il nie le pouvoir créateur de l'esprit et son usage légitime dans la conception des hypothèses et dans les essais de généralisation. Mais il nie qu'il y en ait encore trace et qu'il existe le moindre arbitraire créateur, lorsque l'hypothèse est vérifiée et que la généralisation a pris rang parmi les propositions scientifiques. Le pouvoir créateur, le décret conventionnel de l'esprit, s'exerce pour forger les hypothèses, les fausses comme les vraies, et un très grand nombre de fausses pour un très petit nombre de vraies. Mais ces hypothèses n'ont point droit d'entrée dans la science. Elles font partie des artifices préparatoires de la méthode ; elles peuvent donc être artificielles. Dans la physique proprement dite, sous quelque forme qu'on essaye de le faire intervenir : définition, principe d'épargne, construction logique, l'artificiel n'a point de place ; c'est un échafaudage qui doit disparaître dès que la construction est assez avancée pour se tenir sans lui. Dans cette construction, il n'est pas un moellon, il n'est pas une pièce de charpente qui ne soient imposés par l'expérience. La généralisation ne peut donc être qu'une donnée expérimentale et singulière qu'on retrouve identique dans un groupe plus ou moins large de phénomènes. C'est *une* donnée réelle qui se répète dans un certain nombre de circonstances. A proprement parler, il n'y a pas généralisation, extension par l'esprit d'une relation et adaptation de cette relation à des cas nouveaux. Il y a une série d'observations uniformes qui s'ajoutent, parce que la nature physique telle que nous la révèle l'expérience est composée d'éléments identiques.

5. — Cette nécessité pour la généralisation scientifique d'être un décalque de l'expérience et de n'être que cela, est si nettement dans l'esprit mécaniste, que le mécanisme n'hésite pas, comme on le verra, à formuler des hypo-

thèses contradictoires, dans toutes les parties où la science physique possède des données insuffisantes pour construire les représentations harmoniques des phénomènes. On a quelquefois pris prétexte de ceci pour critiquer le mécanisme. On ne voyait pas que c'était une conséquence nécessaire de ses principes premiers, et que l'objectivité complète, qu'il vise et qu'il se fait fort d'atteindre avec le temps et des progrès ininterrompus, n'en est nullement compromise. Au contraire, c'est une preuve de l'objectivité ou plus exactement de la tendance objectiviste de la théorie. Elle se laisse porter avec l'expérience, par les analogies de l'expérience ; elle ne veut accepter d'autre guide. Aussi, ne faut-il jamais pour un besoin logique corriger les conclusions d'expériences particulières ou les analogies d'une série d'expériences. Si ces conclusions ou ces analogies nous imposent des vues qui nous apparaissent contradictoires avec d'autres conclusions ou d'autres analogies, ce n'est pas une raison pour déclarer que nous sommes dans l'erreur. Rien ne prouve que des expériences nouvelles, ou poussées plus loin, ne fondent, en raison comme en fait, la contradiction observée, et ne la résolvent dans le sens de l'une ou de l'autre des théories contradictoires ou d'une troisième qui lève la contradiction. Il faut donc accepter, pourvu que les règles de la méthode expérimentale aient été scrupuleusement observées, les conclusions de l'expérience, encore qu'elles semblent contradictoires. Ce que nous sommes en droit d'en conclure est, non que nous nous sommes trompés, mais que l'expérience est incomplète et que nous ne possédons pas la vérité totale ¹.

L'esprit rigoureusement expérimental du mécanisme se montre encore par une autre tendance que l'on rencontre fréquemment chez ses représentants : c'est la méfiance du

1. Cf. MAXWELL : *Traité de l'électricité*. Tous les critiques, en particulier Poincaré, et surtout Duhem, en ont remarqué l'inconsistance logique, et même les contradictions. Il est pourtant sorti de l'influence qu'il a exercée une riche moisson de découvertes. — Cf. aussi les « modèles mécaniques » de la physique anglaise. Ils peuvent être contradictoires, et pourtant féconds. En tout cas les physiciens anglais se soucient peu qu'ils soient ou non contradictoires.

raisonnement et du concept purs. On ne peut s'empêcher ici de songer au mot si connu de Newton : « Hypothèses non fingo » ; et de le rapprocher de son autre formule : « Physique, garde-toi de la métaphysique. » Il ne faut pas donner accès dans la science aux conceptions de l'esprit qui n'ont pas dans l'expérience un point d'appui. L'expérience doit être conduite pour nous révéler l'objet, comme le bain photographique révèle l'image. L'esprit n'a qu'un rôle à jouer : refléter, sans modifier, sans ajouter.

Il résulte de cette analyse que les principes fondamentaux de la science sont des lois naturelles tirées telles quelles de l'expérience, non point sans travail de l'esprit, sans hypothèses *préalables*, mais sans travail modificateur, sans hypothèses *permanentes*. Ils sont semblables en nature à toute autre loi empirique. Ils ne s'en distinguent que parce qu'ils s'étendent à toute la physique, autrement dit que la considération d'un phénomène physique nécessite toujours un appel fait à quelques-uns d'entre eux. Ils sont simplement les plus vastes des généralisations qui constituent la science. Comme la loi empirique, le principe est l'expression d'un fait qui se répète dans tout un groupe ; l'expérience qui impose sa généralisation lui impose aussi ses limites et même, s'il y a lieu, ses modifications, en devenant plus précise, plus adéquate, ou plus complète. La mécanique de Newton, dans l'esprit de son auteur, repose sur des principes de ce genre ; et elle est une illustration excellente de ce que le mécanisme entend par explication scientifique : « Dire que chaque espèce de chose est douée d'une qualité scientifique occulte par laquelle elle agit et produit des effets manifestes, c'est ne rien dire. Mais exprimer deux ou trois principes généraux du mouvement, *tirés des phénomènes*, et ensuite montrer comment les propriétés et actions de toutes les choses matérielles découlent de ces principes manifestes, ce serait faire un grand pas en philosophie (i. e. en physique) quand même les causes de ces principes ne seraient pas encore découvertes ¹ ». Et

1. Optique, p. 377.

dans sa première *regula philosophandi*, il énonce nettement que tout principe doit être une *vraie cause*, ou en dériver : une vraie cause, c'est-à-dire une chose réelle, une donnée de l'expérience, un fait naturel, et non une vue de l'esprit, une définition décrétée. Jusqu'à ce que l'expérience ait donné intégralement la vraie cause, et que le principe ne soit plus que la formule directe de cette expérience, il n'y a pas de principe, il n'y a qu'une généralisation hypothétique comme toutes les autres lois scientifiques, une généralisation revisable. Au contraire, que l'expérience manifeste un rapport constant, et quand bien même nous n'en comprendrions pas la raison dernière¹, le pourquoi, quand bien même ce rapport paraît être étrange à notre raison, voire contradictoire avec nos habitudes ordinaires de pensée, il faut l'admettre. L'esprit n'a pas à construire un monde intelligible. Il a seulement à constater le monde qui est.

Ces vues n'ont pas varié de Newton à Berthelot. Chez le chimiste moderne, nous trouvons comme chez le physicien de la fin du *xvii^e* siècle, chaque fois qu'il parle de l'esprit scientifique, qui d'après lui doit régner dans le domaine physico-chimique, ce sens profond du réel, de la chose, dont toute proposition scientifique est inséparable.

« La science positive... procède en établissant des faits et en les rattachant les uns aux autres par des relations immédiates. C'est la chaîne de ces relations, chaque jour étendue plus loin par les efforts de l'intelligence humaine, qui constitue la science positive. Il est facile de montrer dans quelques exemples comment, en partant des faits les plus vulgaires, de ceux qui font l'objet de l'observation journalière, la science s'élève, par une *suite de pourquoi sans cesse résolus et sans cesse renaissants*, jusqu'aux notions générales qui représentent l'explication commune d'un nombre immense de phénomènes². »

1. Par exemple, dans la loi de l'attraction universelle, telle que la comprend Newton.

2. BERTHELOT, Lettre à Renan, in *Dialogues philosophiques de Renan*, 3^e édit., 1856.

« Pour atteindre à de si grands résultats, pour enchaîner une telle multitude de phénomènes par les liens d'une même loi générale et conforme à la nature des choses, l'esprit humain a suivi une méthode simple et invariable. Il a constaté les faits par l'observation et par l'expérience ; il les a comparés, et il en a tiré des relations, c'est-à-dire des faits plus généraux qui ont été à leur tour, et c'est là leur seule garantie de réalité, vérifiés par l'observation et par l'expérience. Une généralisation progressive, déduite des faits antérieurs et vérifiée sans cesse par de nouvelles observations, conduit ainsi notre connaissance depuis les phénomènes vulgaires et particuliers jusqu'aux lois naturelles les plus abstraites et les plus étendues. Mais dans la construction de cette pyramide de la science, toutes les assises, de la base au sommet, reposent sur l'observation et sur l'expérience. C'est un des principes de la science positive qu'aucune réalité ne peut être établie par le raisonnement. Le monde ne saurait être deviné. Toutes les fois que nous raisonnons sur des existences, les prémisses doivent être tirées de l'expérience et non de notre propre conception ; de plus la conclusion que l'on tire de telles prémisses n'est que probable et jamais certaine. Elle ne devient certaine que si elle est trouvée à l'aide d'une observation directe conforme à la réalité.

« Tel est le principe solide sur lequel reposent les sciences modernes, l'origine de tous leurs développements véritables, le fil conducteur de toutes les découvertes si rapidement accumulées depuis le commencement du ^{xvii}^e siècle dans tous les ordres de la connaissance humaine ¹. »

Voilà qui est net : toutes les découvertes empiriques s'organisent en un système bien lié, en un corps hiérarchique où les différents degrés de la hiérarchie sont fixés, d'une façon rigoureuse, par l'expérimentation. Des erreurs peuvent être commises en fait ; comme dans une administration la valeur des fonctionnaires peut ne pas correspondre à leur ordre de subordination. Mais tôt ou tard

1. *Id.*, p. 203.

l'expérience les rectifiera. Elles n'atteignent pas la belle ordonnance théorique de la science.

La physique théorique (c'est-à-dire les grandes théories qui expliquent chacune un nombre considérable de phénomènes), n'est autre que la réunion des causes les plus lointaines et par suite des relations les plus étendues *auxquelles nous a fait remonter l'expérience*. Berthelot dira par exemple : « La physique et la chimie se ramènent dès lors à la mécanique, non en vertu d'aperçus obscurs et incertains, non à la suite de raisonnements *a priori*, mais au moyen de notions indubitables, toujours fondées sur l'observation ou sur l'expérience et qui tendent à établir par l'étude directe des transformations réciproques des forces naturelles de leur identité fondamentale¹. »

La science forme une vaste pyramide : les faits particuliers en sont la base ; les théories, le sommet, et toute la matière de cette pyramide est continue et homogène. Un point pris sur elle ne diffère des autres que par sa hauteur, sa situation hiérarchique. Mais la loi qu'il symbolise est identique, en nature, à toutes les lois symbolisées par les autres points.

6. — Mais si le principe est tiré de l'expérience, n'est-on pas en droit d'en conclure qu'il n'est jamais assuré ? Les formules sont bien connues qui montrent dans le scepticisme le fruit sans cesse renaissant de l'empirisme. Et dans cette continuité étroite qui lie la théorie à l'expérience, d'une façon indissoluble, n'a-t-on pas la racine même de toute l'argumentation du scepticisme à l'égard de l'objectivité de la physique contemporaine ?

Le mécanisme pourrait d'abord se défendre en disant que ce scepticisme va, au contraire, jusqu'à nier que la physique soit une science expérimentale, quand il pousse le paradoxe à ses limites : ce n'est donc pas historiquement l'empirisme qui l'engendre, mais c'est directement contre l'empirisme qu'il s'établit. Il repose sur une doctrine de l'activité créatrice et libre de l'esprit dans la science.

1. *Id.*, p. 203.

Contre cette doctrine, le mécanisme ne cesse de protester.

Il n'en resterait pas moins que l'expérience est toujours revisable, et que le mécanisme introduirait une métaphysique et une scolastique nouvelles, s'il n'inscrivait en tête de ses théories la nécessité de la critique illimitée et ininterrompue des conclusions de l'expérience. Hertz n'hésitera pas à dire : « Dans l'opinion de beaucoup de physiciens, il apparaîtra comme inconcevable que l'expérience la plus éloignée puisse jamais changer quelque chose aux inébranlables principes de la mécanique ; et cependant ce qui sort de l'expérience peut toujours être rectifié par l'expérience ¹. » A lire ainsi quelques assertions détachées des œuvres des mécaniciens, des physiciens et des chimistes, l'objection reste debout. Certes, elle apparaît comme hyperbolique. Pourtant elle semble, en tant qu'objection de principe, impliquer que le mécanisme est impuissant à établir l'objectivité de la physique théorique, tout en restant le système qui prétend mettre cette objectivité au-dessus de toute critique. L'expérience qui la fonde, par une sorte de choc en retour, la détruit.

Mais il ne faut pas oublier qu'il n'y a pas de méthode critique plus artificielle et plus trompeuse que celle qui se borne à prendre dans un ensemble systématique une affirmation, et à l'examiner en elle-même, et pour elle-même, après l'avoir isolée du reste. Il faut, pour avoir une vue nette de la portée de l'objection, se représenter clairement ce qu'est l'expérience pour un mécaniste.

L'expérience n'est pas composée de phénomènes isolés que nos lois viennent relier d'une façon plus ou moins arbitraire ; mais la loi est aussi réelle que le phénomène, et, par suite, le principe, qui n'est qu'une loi très générale. Le lien n'est pas indépendant des données empiriques entre lesquelles il est établi, mais il est inclus dans ces données empiriques ; il est une donnée empirique. La loi est immanente aux faits ; elle ne leur est pas transcendante. Il devient alors très difficile et, je crois même, logiquement

1. Cité par Poincaré, *Science et hypothèse*, p. 127.

impossible de croire que des données empiriques analogues pourraient ne pas admettre une même loi, ne pas vérifier un même principe. Car elles ne seraient plus analogues, puisqu'une partie intégrante d'elles-mêmes ne se répéterait pas. L'expérience nouvelle ne contredit pas l'expérience ancienne. Elle montre seulement, soit que l'expérience ancienne avait été mal faite, soit qu'on expérimente sur quelque chose de nouveau qui n'a rien à voir avec l'expérience ancienne. En somme, il peut y avoir erreur, mais il ne peut pas y avoir opposition d'une expérience à une autre expérience, à propos d'un *même* phénomène, d'une *même* loi, d'un *même* principe.

7. — Ce qui a permis de répondre à la précédente objection, c'est au fond la remarque que le mécanisme ne prend pas l'expérience dans un sens indéterminé et vague, mais dans un sens très précis, en accord avec une conception *unitaire* de la nature. L'unité de la nature donne à l'expérience une solidité logique ; car avec l'unité de la nature, une expérience singulière ou ne se répétera pas, et il n'y aura pas matière à généralisation scientifique, ou elle se répètera semblablement, et la loi sera confirmée. La loi n'est que la répétition d'une même expérience : elle est par là une donnée réelle, un objet direct d'expérience, et non un lien surajouté du dehors aux phénomènes. Elle leur est intérieure et ne fait qu'un avec eux.

Souvent, elle sera la mise en évidence d'une moyenne statistique qui, sous le jeu des différences superficielles qu'entraîne l'énorme complexité de la nature, se retrouve identique dans toute une série de phénomènes¹. La possibilité d'existence de telles moyennes, prouvée par leur réalité expérimentale : voilà ce qui fait, au sein des infinies complications de phénomènes, l'unité de la nature.

Comme on le voit, l'unité mécaniste de la nature n'est pas une unité harmonique et finaliste, mais simplement une *unité de composition*.

1. J. PERRIN — La Discontinuité de la matière — *Revue du Mois* (mars 1906) p. 323.

8. — Il n'en reste pas moins que le mécanisme admet très bien un progrès continu dans la synthèse mécaniste, par suite de réformes importantes dans cette synthèse. La mécanique de Descartes et de Huyghens n'est pas celle de Leibnitz ; celle de Leibnitz n'est pas celle de Newton et de Lagrange, la mécanique de Recch, de Hertz ou de Kirchhoff n'est pas sans doute la mécanique de demain, elle n'était pas davantage celle d'hier ; seulement la mécanique de Leibniz ou de Newton continue celle de Descartes et de Huyghens et procède de même façon, avec les mêmes tendances, la même méthode, le même but ; il en est de même pour la mécanique d'aujourd'hui à l'égard de celle du XVIII^e siècle. Il en sera de même pour la mécanique de demain. Et comment ces progrès se sont-ils accomplis ? Par les nécessités de l'expérience physique surtout, qui chaque jour étendait le champ de la mécanique en lui apportant les modifications nécessaires. Le mécanisme est une extension de la mécanique à la physique ; mais comme si dans le domaine de la science s'appliquait aussi le principe de l'action et de la réaction, la physique a à son tour une répercussion sur la mécanique. L'unité de la nature l'exige. La physique reste une promotion de la mécanique, mais dire qu'elle est une promotion de la mécanique ne signifie pas qu'elle soit absorbée et qu'elle disparaisse dans la mécanique ; cela signifie qu'elle la continue et qu'elle évolue comme elle et avec elle¹.

9. — Une expérience ultérieure pourra bien nous révéler un élément nouveau ou une propriété nouvelle, nécessiter l'addition d'un principe nouveau, comme cela s'est vu dans la seconde moitié du XIX^e siècle avec la thermodynamique et même faire d'un principe, considéré jusque-là comme fondamental, un principe secondaire et dérivé (par exemple le principe de l'inertie de la matière, dans les nouvelles extensions de la représentation électronique). Mais elle laissera intacts dans leur cercle d'application, telle que l'a déterminée l'expérience, c'est-à-dire dans leur portée et leur

1. PERRIN : *Traité de Chimie physique*, t. I, Préface, p. XI.

nature véritables, les principes déjà posés. Le mécanisme se sera complété. Il n'aura pas été renversé. Il ne peut l'être, à moins que l'expérience tout entière le soit ; mais à cette hypothèse folle, il n'est rien qui puisse résister, pas même notre logique.

10. — Mais le mécanisme va encore plus loin, et il montre que cette assise objective non seulement est solide, mais encore inébranlable. Et, sans sortir de ses prémisses, sans recourir à des conditions d'intelligibilité qui dépassent l'expérience, le mécanisme s'efforce de donner aux principes issus de l'expérience, le caractère apodictique de la nécessité géométrique, caractère que les philosophes ne veulent accorder d'ordinaire qu'à l'intuition ou à la forme *a priori*. Les théories physiques doivent être les *représentations sensibles* des choses. Par un agencement des données sensibles, qui ont été retenues d'après les indications de l'expérience, comme les principes élémentaires et primordiaux de la construction scientifique, les phénomènes seront reproduits et prévus avec toutes leurs particularités. De là, résulte un critère remarquable qui permet de reconnaître entre toutes les données objectives, celles qui sont fondamentales : En combinant ces dernières les unes aux autres, et sans adjonction de principes nouveaux, on doit reconstruire les phénomènes physiques et leur histoire, ou, si l'on veut, toutes les possibilités de prévisions qu'ils comportent. Cette reconstruction ne doit pas être une reconstruction logique et idéale : nous outrepasserions absolument les prémisses du mécanisme. Elle doit être une reconstruction réelle, un agencement réel d'éléments réels, un agencement empiriquement représentable d'éléments empiriquement représentables. Toutes les articulations de cette construction seront, par conséquent, des cas déterminés présentés dans l'expérience, ou — la perfection n'étant pas encore du monde des sciences physico-chimiques, — s'inspireront le plus directement possible de cas déterminés présentés dans l'expérience.

Ainsi, quand d'une part l'expérience nous fait atteindre des éléments réels tels qu'avec leur aide et avec elle seule,

nous puissions reconstruire expérimentalement, réellement, les phénomènes physiques, sans qu'il soit besoin de faire appel à d'autres principes, et quand, d'autre part, l'analyse de ces éléments nous fait toujours retomber sur des éléments identiques en nature, alors nous sommes sûrs, définitivement sûrs, que l'expérience nous a mis en face de principes objectifs. Les progrès de la physique pourront, dans les phénomènes qu'on ne peut encore dériver de ces principes, en découvrir de nouveaux ; mais les anciens sont désormais hors de contestation dans leur cercle d'application.

En résumé, les données objectives qui se suffisent empiriquement à elles-mêmes et sont les conditions nécessaires et suffisantes de l'explication d'un groupe de phénomènes, voilà en quoi consistent, et à quoi on reconnaît les principes nécessaires et fondamentaux d'une théorie physique.

11. — Aussi ne doit-on pas s'étonner de trouver dans les exposés mécanistes des formules telles que celles-ci : « Quand nous avons atteint telle représentation, nous voyons que nous ne pouvons aller plus loin et remonter à quelque autre principe d'explication. » Maxwell dira par exemple¹ : « Quand nous avons acquis la notion de la matière en mouvement..., nous sommes incapables d'aller plus loin et de concevoir qu'une addition quelconque, possible à nos connaissances, puisse expliquer l'énergie du mouvement », ces formules ne marquent nullement un retour à on ne sait quelle intuition cartésienne, quelle « nature simple, » ou quelle catégorie *a priori* de l'entendement. Elles sont simplement des constatations expérimentales, et si on veut bien les entendre, il faut se débarrasser de tout bagage conceptualiste. Là où le mot conception est employé, il faut donner à ce mot une signification sensible et lire représentation empirique. Et tout s'éclaire alors et devient cohérent. L'expérience nous met en face d'une représentation indécomposable. Le mouvement peut être décomposé en mouvements : il ne peut l'être en autre chose que lui-même. L'expérience derrière le mouvement ne

1. *La Chaleur*, p. 386.

révèle que du mouvement. Le mouvement est donc une donnée primitive. Le mouvement et ses lois et les propriétés immédiates qu'il implique permettront donc de construire une théorie physique ; et c'est l'expérience qui l'aura autorisée directement.

On peut dire que par rapport aux principes fondamentaux de la physique, l'expérience peut se figurer par une ligne qui se prolonge constamment identique à elle-même. La possibilité de la prolonger est prouvée, au fond, comme la possibilité de tracer indéfiniment une droite, parce que l'opération par laquelle on la trace peut se répéter identiquement et indéfiniment. Faire une expérience nouvelle nous amène toujours à prolonger la ligne, à retrouver les principes. On voit que le mécanisme a raison, sur le terrain expérimental au moins, le seul sur lequel il veut rester placé, de dire qu'ils ne peuvent être atteints par le doute. On ne peut pas lui demander une *justification logique*, puisque pour lui cette justification serait sans valeur, la logique n'ayant aucune valeur cognitive.

La physique mécaniste apparaît donc depuis la base jusqu'au sommet comme une conception expérimentale, et uniquement comme une conception expérimentale. Si, par son contenu, elle peut se définir une promotion de la mécanique, par sa méthode et les principes que cette méthode lui a imposés, elle est une promotion de l'expérience.

12. — Une bonne illustration de cette méthode, illustration qui met clairement en lumière les prétentions et la nature intime de la théorie mécaniste se trouve dans les chapitres du traité de Maxwell sur « La Chaleur », où est posée la théorie moléculaire ou mécanique de la chaleur.

La chaleur est une forme de l'énergie ; c'est une donnée de l'expérience, parce que « la chaleur peut être engendrée par l'application d'un travail » et que le mot énergie désigne la quantité de travail que peut effectuer un corps, sa capacité de travail. Dans cette transformation, si l'on convient de choisir une unité de chaleur et une unité de travail, l'expérience montre que pour chaque unité de chaleur

engendrée, une certaine quantité d'énergie mécanique disparaît, toujours identique, constante et réciproquement. D'après l'expérience, la chaleur est donc une transformation de l'énergie.

L'énergie nous est connue sous deux formes : voilà une deuxième donnée de l'expérience, car toute expérience nous montre un corps en mouvement ou en repos. Dans le premier cas il possède une énergie, conséquence de son mouvement et qu'il communique toujours à quelque autre corps avant de passer à l'état de repos. Dans le second, l'expérience nous montre qu'un corps possède une énergie qui dépend de sa position par rapport à d'autres corps. Maxwell prend comme exemples empiriques une horloge et une montre et il fait voir que jusqu'à ce que l'une ou l'autre soient mises en marche, l'existence de la capacité de travail qu'elles recèlent n'est accompagnée d'aucun mouvement sensible ; cette capacité existe donc dans un corps ou un système de corps dont toutes les parties sont au repos, et ceci, toujours d'après l'expérience.

Puisque l'expérience a montré que la chaleur est une modalité de l'énergie et qu'il y a deux formes générales de l'énergie, une nouvelle question se pose : la chaleur est-elle une modalité de l'énergie potentielle ? A l'expérience encore de répondre. Elle montre qu'une partie au moins de l'énergie du corps chaud doit être de l'énergie provenant du mouvement de ses particules, ou énergie cinétique. Chaque corps chaud possède donc un certain mouvement. Nous avons maintenant à rechercher de quelle nature est ce mouvement. Cette fois-ci, l'expérience directe ne peut nous renseigner. Mais ce sera d'après des analogies de l'expérience, d'après une hypothèse qui *cherchera à se rapprocher autant que possible des conditions de la représentation*, à anticiper sur une expérience possible, que Maxwell continuera la théorie de la chaleur, et l'achèvera grâce à une théorie moléculaire de la matière.

L'expérience¹ fait elle-même le départ du général et du primitif, du complexe et du dérivé. L'expérience nous *force* à considérer le mouvement comme le terme néces-

saire sous lequel nous puissions nous représenter l'énergie cinétique. Nous ne pouvons pas nous représenter une action, un travail effectif, sans nous représenter un mouvement, et le mouvement est lié par une loi constante à la capacité de travail ; dans tous les cas, celle-ci peut se ramener à celui-là ; elle ne peut se mesurer que par celui-là.

III. — LES ÉLÉMENTS FIGURÉS

13. — Dans la théorie mécaniste, la continuité entre la physique expérimentale et la physique théorique est aussi complète qu'on peut la concevoir. Il n'y a même plus lieu de les distinguer : expérience et théorie s'impliquent, et au terme s'identifient. Une théorie doit viser à n'être qu'une série d'expériences possibles. Les principes fondamentaux de la physique sont des données empiriques, élevées au rang de principes fondamentaux, parce qu'elles se répètent identiquement et uniformément dans l'expérience.

On voit que ce caractère si apparent des théories mécanistes, qui a servi à poser leur définition provisoire et à les opposer de suite aux autres conceptions de la physique, dans la classification préliminaire qui en était tentée, n'est point un caractère superficiel. Partant, la classification, qui en fait état, a une valeur plus grande que celle qu'on était d'abord tenté d'accorder à une classification préliminaire. Ce caractère du mécanisme de considérer comme objectifs non seulement les résultats de la théorie physique ou les lois qui entrent dans cette théorie, mais encore les termes entre lesquels ces lois sont établies, est l'expression la plus complète de la tendance maîtresse du mécanisme.

Il est bon de prévenir tout de suite un malentendu que pourrait faire naître la lecture partielle ou isolée de certains physiciens.

Maxwell, par exemple, dans sa dernière manière, le *Traité d'électricité*, se contente de montrer que les phéno-

mènes électromagnétiques se déduisent d'un système d'équations différentielles, calquées sur les six équations différentielles fondamentales de la dynamique de Lagrange. Il prouve la possibilité d'une explication, dont la charpente mathématique est identique à celle donnée par Lagrange à la dynamique, et c'est tout. Hertz de même, à sa suite d'ailleurs, réduira la théorie électromagnétique de la lumière, à un système de six équations différentielles.

Où Maxwell et Hertz et leurs disciples ne sont pas des mécanistes, est-on tenté de dire, ou le mécanisme ne fait pas une place nécessaire aux éléments figurés.

Mais il est facile de voir que Maxwell et Hertz ne procèdent comme ils le font que par une sorte de pis aller : ils veulent seulement poser les bases d'une théorie que l'insuffisance actuelle de la physique rend nécessairement abstraite, vague, indéfinie ; ils tracent le cadre général dans lequel doit se mouvoir la théorie, à mesure qu'elle prendra sa forme définitive. Ils veulent prouver simplement la possibilité d'une théorie mécanique, en laissant aux découvertes futures le soin de la construire. Les vues de Maxwell, en particulier, sont très nettes : il a essayé à plusieurs reprises une théorie de l'électricité en partant d'éléments matériellement figurés. Il édifia pour cela des hypothèses assez compliquées, dont la clarté logique laisse à désirer, et qui ne conduisent pas à des résultats satisfaisants. C'est alors qu'il chercha seulement, en choisissant judicieusement les variables qui représentaient les phénomènes électriques, à calquer les équations fondamentales de la théorie de l'électricité, sur les équations fondamentales de la dynamique de Lagrange. Il put alors établir que cette théorie se laisse formuler d'une façon conforme à la dynamique de Lagrange. Il est donc *possible* en partant de données correspondantes aux données primitives de la mécanique, de représenter les phénomènes électriques. L'œuvre de Maxwell montre cette possibilité. Elle ne pouvait aller plus loin. Voilà pourquoi il ne reste de cette œuvre qu'un système de six équations différentielles. Il n'en pouvait rien rester d'autre. Cela ne veut pas dire que,

pour Maxwell et Hertz, on n'arrivera pas à fonder sur des éléments réels une théorie mécanique de l'électricité. Bien au contraire, le fait de représenter les phénomènes électriques dans une théorie dont la forme est identique à la forme générale de la mécanique classique, en montre la possibilité. Aux expérimentateurs futurs d'aboutir. En résumé, l'état actuel des connaissances laisse dans la solution du problème une forte part d'indétermination. Mais rien n'indique que cette indétermination n'aille pas en diminuant ; la solution actuelle montre, au contraire, qu'elle doit diminuer, à mesure que se précisera la *nature des quantités*, par suite des *éléments*, qui entrent dans les équations.

Il reste donc bien que tous les physiciens qui se rattachent à l'école mécaniste admettent que la physique théorique repose sur la considération d'éléments objectivement représentables ; et c'est là une caractéristique essentielle de l'école mécaniste. Elle dérive directement, au fond, de l'attitude rigoureusement expérimentale dont cette école a fait un principe suprême et absolu.

14. — Dans les interprétations précédentes de la physique, la théorie était considérée comme une modification des lois expérimentales, introduites consciemment par l'esprit pour satisfaire des besoins rationnels. De toute façon, l'esprit ajoutait quelque chose à l'expérience. On considérait d'un côté un donné plus ou moins difficile à connaître, et de l'autre un esprit qui s'efforçait de le connaître. Action et réaction du donné sur l'esprit et de l'esprit sur le donné, avec des quantités d'actions différentes de l'une ou de l'autre selon les théories, voilà à quoi se réduisaient en dernière analyse les constructions de la physique mathématique¹.

1. L'antique antithèse métaphysique du sujet et de l'objet y transparaît. Le sujet a ses exigences particulières ; l'ensemble de ces exigences établissent les conditions d'intelligibilité. L'objet a ses caractères spécifiques que révèle l'expérience pure ; l'ensemble de ces caractères spécifiques, voilà ce qui constitue l'objectivité. Ce qui satisfait aux conditions d'intelligibilité forme ce qu'on appelle le

Le grand problème que, partout, pour maintenir l'objectivité de la physique, il a fallu résoudre, l'obstacle qu'on a surmonté avec difficulté et non sans laisser quelquefois une inquiétude demeurer sous la solution, a été de

rationnel, l'intelligible, la raison. En face de l'intelligible, se dresse — souvent comme au-delà d'un abîme, inconnu, mystérieux, voir inconnaissable, — tout ce qu'on considère comme objectif, c'est-à-dire les propriétés sensibles, les données infiniment nuancées de la perception, de la sensation. A jeter le pont entre les deux bords du précipice, la science est destinée : la mécanique et la physique théorique se figureraient par l'arche qui touche à la rive du rationnel et de l'intelligible. Mais le pont ne paraît pas toujours solide, et à force d'avoir analysé la connaissance, on l'a coupée en deux parties sans contact. La théorie physique relève uniquement de l'intelligible. Elle se meut tout entière dans le rationnel, en entendant par ce mot une construction d'idées pures, de concepts. Et, par une curieuse interversion historique, les critiques du mécanisme, à quelque école qu'on les emprunte, mais surtout si on va les chercher dans l'école énergétique, ont, en employant souvent les mêmes expressions que l'aristotélisme, pris le sens de ces expressions directement à contrepied. Par suite, la philosophie des sciences contemporaines en est souvent venue à faire de l'intelligible et du rationnel, l'arbitraire et le subjectif. Or, il est incontestable que la réforme scientifique de la Renaissance, le point par lequel Bacon et Descartes, les rationalistes et les empiriques s'accordent sur le terrain de la conception scientifique est celui-ci : Il ne faut pas opposer l'expérience à la raison. Mais l'objet est rationnel, et rationnel jusque dans ses moindres parties. La conception de la matière de l'univers physique de Descartes est l'illustration la plus nette de cette tendance. La théorie de l'expérience qu'on ne remarque pas assez chez ce philosophe est aussi grosse d'enseignements. L'expérience va au devant de la théorie intelligible, elle s'achève en rationnel. C'est un moyen de faire trouver à la raison son patrimoine et sa juridiction légitimes. L'expérience est un auxiliaire nécessaire de la méthode rationnelle : elle va à la rencontre des causes et des lois : aussi doit-elle être multipliée, et le discours de la méthode conclut par un vigoureux appel à la générosité publique pour instituer les expériences. Pour Leibniz, l'être sera encore machine (lisez : intelligible, rationnel) jusque dans ses moindres parties. Pour Newton l'expérience c'est la raison matérialisée, la raison c'est l'expérience formulée en concepts.

Des rationalistes passons-nous aux empiristes ? Sur ce terrain la différence est de degré, si l'on peut même dire qu'il y a une différence. L'expérience est un enchaînement nécessaire de causes et d'effets, et ces causes et ces effets sont des articulations mécaniques. Pour Hobbes, pour les empiriques anglais, il en sera constamment de même. Entre l'intelligible et l'expérience, il n'y aura nécessairement pas de discontinuité. L'intelligible n'est qu'un extrait de l'expérience. L'abstraction n'altère pas ; elle précise la formule.

rejoindre les deux bouts de la chaîne après l'avoir brisée.

Le mécanisme ne connaît pas cette préoccupation. Le problème pour lui n'existe pas, car il a gardé purement et simplement la tradition de la Renaissance, et la pensée de Galilée, de Descartes, de Bacon, de Hobbes.

Ainsi, si l'on part de la raison, comme les cartésiens, on la retrouve toute pure dans l'expérience, puisque celle-ci est diaphane pour la raison ; si l'on part de l'expérience, comme les empiristes, on retrouve la raison, car la raison est un décalque nécessaire de l'expérience. Raison et expérience ne peuvent pas être l'une objective, l'autre subjective comme chez les socratiques, et dans le rapport inverse, comme pour les modernes restaurateurs de cette terminologie, elles doivent suivre le même sort, parce qu'en réalité elles ne font qu'un.

Ce qui est subjectif pour l'esprit scientifique moderne, tel qu'il prend conscience de lui-même à la Renaissance, c'est l'abstraction réalisée et construite arbitrairement par l'esprit, cette œuvre constante de l'imagination débridée malgré toutes les précautions et tous les avertissements. C'est ce qui est confus ou équivoque, mal perçu par les sens, ou illogiquement conclu par l'esprit, ce qui vient d'une cause accidentelle, d'un point de vue particulier. C'est l'erreur sous toutes ses formes, c'est le sentiment individuel non contrôlé. Ce qui est objectif, c'est ce qui est, d'après l'expérience ou le raisonnement logique, l'un confirmant l'autre ou s'achevant, se continuant dans l'autre, universel, clair et distinct. L'objectif est *à la fois représentable et intelligible*. Ce qui est intelligible ne peut pas ne pas être représentable. Ce qui est représenté ne peut pas ne pas être intelligible.

Une manifestation remarquable de cette tendance se trouve dans les idées qui amenèrent Descartes à ses recherches de géométrie analytique. La tendance peut au fond se résumer ainsi : le contenu de la représentation se formulera toujours par une théorie rationnelle. Une théorie rationnelle ne peut exister que par rapport au contenu de la représentation. Si Descartes pose l'existence de la matière, c'est qu'il veut montrer que la représentation géométrique n'est pas une création de l'esprit, mais une réalité — il n'est pas idéaliste — et dans les termes où il définit cette réalité et la pose, cette réalité a pour essence d'être rationnelle et intelligible. Il ne doit pas y avoir antinomie entre la représentation exacte et la logique, entre le réel et le rationnel.

C'est en combinant l'analyse des anciens et l'algèbre des modernes que Descartes crée la géométrie analytique, mais l'analyse des anciens c'est la géométrie, tout embarrassée de « la considération des figures », c'est-à-dire de l'espace qui, pour Descartes, constitue la matière même de la représentation. L'algèbre des modernes, c'est la longue chaîne de raisons toutes simples et faciles qui satisfait l'esprit par son « évidence » et sa « certitude ». Représentable et intelligible sont donc synthétisés, ramenés à une absolue et féconde unité avec la géométrie analytique. La méthode que Descartes pro-

Le mécanisme prend comme terrain solide de construction, l'unité profonde de l'intelligible et de l'expérience, du pensable et du représentable, du rationnel et du perceptible. Et il n'est pas sorti de ce terrain. Il l'a toujours exploité, en s'efforçant de ne rien laisser en friche. Lorsqu'il est amené à des hypothèses contradictoires, c'est qu'il échafaude, mais ne construit rien de définitif. Il le sait ; il compte pour résoudre la contradiction sur l'expérience à venir, car la logique n'étant que l'expression du réel, le réel est forcément logique. Jamais un mécaniste ne dira que les principes de la physique ont d'abord été des propositions absurdes et contradictoires et répugné à la raison, assertion que l'on rencontre parfois chez les philo-

pose n'est rien autre qu'une extension conforme à cette première application, du même principe : réduire le représentable à l'intelligible, le réel et la pensée, s'impliquent absolument : on dirait aujourd'hui l'expérience et le rationnel. Quel bout que l'on tienne, on est sûr de pouvoir suivre la chaîne, et la méthode consiste à savoir la remonter et la redescendre en analysant le représentable, pour arriver aux natures simples allant au-devant des causes par les effets, ou bien en synthétisant rationnellement les raisons des choses, pour retrouver les choses elles-mêmes de conséquence en conséquence. Bien entendu, il s'agit des choses, de l'objet tel que le conçoit Descartes : et quelles que soient nos appréciations personnelles de cette conception, il reste que Descartes, dans son *Traité du monde et de la lumière*, comme dans sa *Dioptrique*, comme dans les *Principes*, ne vise qu'à se former une conception claire et distincte du monde, à l'aide d'éléments représentables. Mieux encore, il ne distingue pas représentable et intelligible. Ce que nous disons de Descartes peut se répéter *mutatis mutandis* des esprits plus empiriques : Bacon ou Hobbes. Ils partent de l'autre bout de la chaîne — encore qu'on ait beaucoup exagéré l'*apriorisme* cartésien en matière de physique ; mais c'est la même chaîne qu'ils remontent pour ainsi dire en sens inverse. La représentation se résout chez eux en termes intelligibles et rationnels, comme avec les cartésiens, le rationnel et l'intelligible retrouvent le domaine du représentable. Pour les uns comme les autres, l'intelligible se *figure* clairement et distinctement, et les figures et les formes sont toujours intelligibles.

Nous voilà loin de l'attitude des critiques qui, à notre époque, se sont préoccupés de l'objectivité de la physique. La philosophie idéaliste du XIX^e siècle a rompu l'unité du représentable et de l'intelligible. Et ce n'est pas une simple coïncidence historique si les sceptiques à l'égard de la physique se présentent surtout parmi ceux qui se sont nourris de cette philosophie idéaliste, et en forment comme l'extrême aboutissant.

sophes anti-mécanistes. Il soutiendra toujours, au contraire, que la contradiction n'était qu'apparente et superficielle. Au fond, la raison exigeait le principe et répugnait aux constructions antérieures : ce principe, à mesure que l'expérience le pose et le formule, devient évident.

Les principes, parce qu'ils résultent de l'expérience qui ne s'exprime que par une série de termes représentables, devaient donc être, et ne pouvaient être que des relations établies entre des éléments empruntés au domaine du représentable, des éléments objectifs et figurés¹. Le mécanisme évitera toute construction conceptuelle. Edifiée contre la scolastique, il ne veut pas d'un jeu de concepts ou de symboles généraux, plus pratiques mais tout aussi abstraits et irréels que les sorites de la scolastique. Il est, par ce côté, une illustration des théories de la psychologie scientifique moderne qui établit un lien étroit et nécessaire entre l'image et le concept, la perception et le raisonnement, les sens et l'intellect, et le mécanisme actuel s'oppose par là à la scolastique non seulement par son « organon », ses tendances et son point de départ, mais encore par la psychologie de la connaissance qu'il suppose.

15. — On sait en quoi consistent intégralement les éléments figurés que le mécanisme met à la base de la physique théorique. Son nom de mécanisme vient de là : ce sont des éléments qui sont déjà étudiés par la mécanique, et les sciences que la mécanique suppose, la science du nombre et la géométrie : espaces et temps homogènes, déplacements, forces, vitesse, accélérations, masses, voilà les figures, les représentations à l'aide desquelles on se propose de rendre intelligible l'univers physique. Pourquoi la physique, depuis trois siècles, aboutit-elle toujours à ces éléments, à ces mêmes éléments, à ces seuls éléments, on l'a vu tout à l'heure. Ce n'est pas qu'ils se prêtent grâce à leur simplicité, leur clarté, leur commodité, mieux que d'autres à être compris de l'esprit, à entrer dans la chaîne des théories. Ces raisons de choix

1. W. THOMSON, in *Revue générale des sciences*, 1903, p. 258.

que le mécanisme pourrait invoquer aussi bien et souvent mieux que les autres interprétations de la physique théorique, ne lui paraîtraient pas suffisantes. Il ne suppose pas que la connaissance de la nature doit être dirigée pour satisfaire quand même la raison. Il n'y a de connaissance que celle que l'expérience nous impose. C'est donc parce que l'expérience nous a fait, jusqu'à présent, retomber sur ces éléments, c'est parce que toute représentation, toute perception sensible se laisse décomposer jusqu'à ces éléments, et recomposer à partir de ces éléments, c'est parce que l'analyse et la synthèse sont objectivement représentables avec eux et ne sont objectivement représentables qu'avec eux, que nous avons le droit et l'obligation de les poser comme les éléments primordiaux de la théorie physique :

« L'esprit humain, en observant les phénomènes naturels, y reconnaît, à côté de beaucoup d'éléments confus, qu'il ne parvient pas à débrouiller, un élément clair, susceptible par sa précision d'être l'objet de connaissances vraiment scientifiques. C'est l'élément géométrique tenant à la localisation des objets dans l'espace et qui permet de se les représenter, de les dessiner ou de les construire d'une manière au moins idéale. Il est constitué par les dimensions et les formes des corps ou des systèmes de corps, par ce qu'on appelle, en un mot, leur *configuration* à un moment donné. Ces formes, ces configurations dont les parties mesurables sont des distances ou des angles, tantôt se conservent du moins à peu près, pendant un certain temps et paraissent même se maintenir dans les mêmes régions de l'espace pour constituer ce qu'on appelle le *repos*, tantôt changent sans cesse, mais avec continuité, et leurs changements de lieu sont ce qu'on appelle le *mouvement local* ou simplement le mouvement ¹. »

Certes, encore une fois, il n'est pas vrai que la physique soit arrivée à tout réduire à des figures et à des mouvements. Mais de ce qu'elle n'y est pas encore arrivée, il

1. BOUSSINESQ : *Leçons synthétiques de mécanique générale*, p. 1.

serait absurde de conclure qu'elle n'y arrivera jamais. Le mécanisme doit arguer à son avantage que le progrès de la physique dans toutes ses branches, jusqu'ici, l'a toujours rapprochée de la mécanique, et que toutes les théories à mesure qu'elles se précisent et qu'elles rendent compte des phénomènes, semblent le pouvoir faire en partant du mouvement.

Mais ce serait trahir le mécanisme que de restreindre la physique théorique qu'il conçoit à n'être qu'un développement de la mécanique classique, considérée comme un évangile définitif et immuable, et à ne reposer que sur les éléments et les principes que l'on rencontre dans la mécanique actuelle. Il convient de dissiper ici une méprise fréquente qui ferait de la théorie mécanique de l'univers physique, non pas une théorie scientifique, mais la plus étroite des métaphysiques.

16. — Si le mécanisme veut avant tout être une conséquence de l'observation et de l'expérience, et si par cela même il est amené à construire la physique théorique à l'aide d'éléments donnés par la représentation, et avec ces éléments seuls, la physique théorique ne peut plus procéder, comme dans les théories conceptuelles, du général au particulier. La théorie, au lieu d'aller se particularisant dans chaque branche de la physique, s'étendra plutôt progressivement à des cas nouveaux en les ramenant aux cas anciens, et en généralisant après coup la relation primitive. Il y a là une nouvelle différence, d'importance considérable entre le mécanisme et les autres formes de la physique théorique. On l'a peu remarquée jusqu'ici, à ma connaissance. Elle en est pourtant une caractéristique essentielle, au même titre que la nature strictement expérimentale des principes et la représentabilité nécessaire des éléments. Elle ne forme d'ailleurs avec elles qu'un seul tout ; elles sont toutes trois liées ensemble indissolublement¹.

Ainsi, le mécanisme est un nominalisme véritable : car pour lui non seulement il n'existe que des individus ; mais

1. Il importe de noter que les expressions : particulier et général,

encore toute connaissance véritable est une connaissance de l'individuel. Au rebours de la maxime d'Aristote et de la scolastique, « il n'y a de science que le général, » le mécanisme, aussi bien par le point de départ de la recherche : l'expérience concrète, le fait particulier, — que par son dernier terme : un fait élémentaire particulier, ou le résultat d'une statistique de cas particuliers, élevé à la dignité de principe, pourrait dire : « Il n'y a de science que du particulier et du concret. »

On ne peut pas dire alors qu'il y ait dans le mécanisme une marche du général au particulier, ou du moins on ne peut le dire qu'avec les restrictions nominalistes usuelles. La marche de la science est proprement et toujours du particulier au particulier, d'un fait à un autre fait, et par la répétition indéfinie de ce procès, du particulier au général, comme dans les généralisations mathématiques. Il n'y a de généralité que parce que les faits particuliers se ressemblent et se réduisent à des éléments semblables.

marche du particulier au général ou du général au particulier ne se rencontrent guère chez les fondateurs de la tradition mécaniste. Le mot général recouvrait une marchandise qu'avaient trop falsifiée les derniers représentants de la scolastique, pour qu'il n'inspirât pas une invincible répugnance. Les mécanistes furent tous nominalistes ; pour eux le général n'eut pas d'existence propre. Rappelons-nous Spinoza marquant une différence essentielle entre les notions générales qui sont des signes, des mots, et les notions communes qui désignent toujours des réalités, des existences particulières, mais à la considération desquelles nous ramènent universellement l'examen des faits multiples. La définition du triangle est une notion commune, et non une idée générale. Elle exprime en effet une *modalité* réelle de l'*attribut* « étendue de la substance ». Elle existe puisqu'elle est liée à ce qui existe véritablement, cela par le lien nécessaire qui rattache le mode fini au mode infini, le mode infini à l'attribut, et l'attribut à la substance. Au contraire la qualité abstraite d'un certain nombre d'objets, la *virtus dormitiva* de l'opium par exemple, n'est qu'un *flatus vocis*, une idée générale, quelque chose qui n'existe que pour et par nous, dans notre esprit, dans notre langage, mais en aucune façon dans la réalité objective. Cette conception philosophique est à rapprocher de celle de la « nature simple » dont Descartes fait usage en physique. Cette nature simple n'est que l'aspect physique de la notion commune, son corps matériel si l'on peut dire. La conception de la notion commune et celle de la nature simple, nous aident à comprendre l'élément du mécanisme. Car celui-ci en dérive.

Qu'est-ce qui caractérise alors la progression du raisonnement scientifique, car il est incontestable que ce raisonnement suit une progression rigoureuse ? Là encore l'opposition avec la scolastique se précise. La marche essentielle dans le raisonnement cher à l'école, est en même temps qu'une déduction du général au particulier, comme le fait remarquer Descartes, une marche du connu au connu. La conclusion est contenue dans les prémisses. Celles-ci ne sont vraies que si la conclusion l'est aussi. Aussi le formalisme logique peut-il rendre des services pour exposer la vérité. Il ne l'a jamais fait découvrir. La méthode de la physique sera ici une marche du connu à l'inconnu¹.

On a cherché des expériences particulièrement simples qui révèlent les conditions suffisantes et nécessaires d'un phénomène, et généralisé les résultats de ces expériences particulièrement simples, en démêlant, à propos des cas nouveaux plus complexes, des éléments analogues aux cas anciens. Le fait nouveau s'explique ainsi par une réduction au fait ancien. On éclaire l'inconnu en projetant sur lui la lumière du connu. On essaye de généraliser la loi qui a réussi à expliquer les phénomènes simples en l'étendant à des cas où de prime abord elle ne paraît pas s'appliquer. Mais dans cette démarche, le mécanisme reste fidèle à son point de vue primordial. Si par une hypothèse hardie il donne à une loi particulière, dont les termes ont le privilège d'une simplicité qui ne permet pas le doute, une extension généralisatrice, ce n'est pas par une vue de l'esprit. — A tout le moins, la vue de l'esprit n'est-elle qu'une étape provisoire. — C'est parce que les faits nouveaux peuvent expérimentalement se réduire à un arrangement complexe des faits anciens, ou donner une résultante moyenne que sa simplicité avait déjà permis d'apercevoir

1. Comment cette marche est-elle possible ? Elle n'est possible que si l'on part d'un fait privilégié, dirait Bacon, d'une réalité immédiatement aperçue par l'esprit, dira Descartes, et si l'on peut réduire progressivement d'autres faits au premier et aux propriétés et aux relations qu'il implique nécessairement. Le développement historique du mécanisme n'est qu'une adaptation de ce processus général à l'objet de la physique.

et d'énoncer, avant même que ces faits nouveaux soient connus.

Le mécanisme, pour appuyer cette vue, pourrait citer presque toute l'histoire des sciences, et les théories psychologiques les plus récentes sur la nature du raisonnement¹.

17. — La réussite de cette méthode dans l'étude de la nature implique nécessairement une conclusion de haute importance sur la nature elle-même. Il faut que celle-ci soit homogène dans son fond, relativement à tout le domaine des phénomènes mécaniques et physico-chimiques. Cette proposition n'est pas, d'ailleurs, particulière au mécanisme. Rankine dans son essai — le premier en date — pour amender la physique traditionnelle, concluait à un fond commun, à un invariant général, sous tous les phénomènes physico-chimiques : une quantité constante d'énergie homogène. Duhem pousse plus loin la restauration de la physique de la qualité. Mais il admet encore très nettement des qualités premières — en petit nombre — auxquelles se ramènent toutes les autres nuances qualitatives ; il admet aussi que le nombre de ces qualités n'est pas immuable, et qu'il peut très bien se réduire.

Ce qui caractérise le mécanisme, c'est qu'il admet l'homogénéité non seulement des phénomènes physico-chimiques, mais à la fois des phénomènes physico-chimiques et des phénomènes mécaniques. La nature est un *système*.

18. — On a souvent présenté cette affirmation comme un postulat du mécanisme. Le mécanisme serait le résultat d'une croyance *a priori* et d'une idée préétablie relatives à l'homogénéité de la matière. Il semble qu'on renverse ainsi l'ordre logique et psychologique des assises de la théorie mécaniste. L'homogénéité de la matière n'est ni un principe ni un postulat. Elle est une conséquence de l'évolution des sciences physico-chimiques. Elle est un résultat de la méthode scientifique précisée à la Renaissance d'une façon systématique (car c'est d'une méthode analogue que

1. Cf. RIBOT, *Evolution des idées générales*, p. 38. (Paris, F. Alcan.)

relèvent au fond toutes les découvertes antérieures, mais sans qu'elle ait été formulée d'une façon clairement consciente et ordonnée).

C'est parce que l'expérience devient la pierre angulaire de la méthode, c'est parce que seuls les faits particuliers relèvent du domaine de l'expérience, c'est parce qu'il résulte de ce nominalisme rétabli dans son véritable sens qu'on ne peut aller que du particulier au général, c'est parce qu'avec cette démarche du particulier au général, toute connaissance nouvelle n'est possible qu'en ramenant un terme inconnu à un terme déjà connu, que l'on est amené à poser l'homogénéité de la nature physique. On n'a pas postulé cette homogénéité, on y arrive peu à peu, on est forcé de la conclure, à mesure que la réussite de la méthode y contraint.

19. — Et voilà que nous arrivons à une vue nouvelle dont les conséquences ont été, en pratique, autrement graves.

Dans toutes les théories générales de la physique, que nous ont proposées jusqu'ici les physiciens qui ne voudraient pas de l'épithète de mécaniste, on a pu remarquer les efforts non dissimulés pour conserver le mathématisme introduit par la physique de la Renaissance. Pas de physique mécaniste, mais une physique mathématique.

Seulement, il est impossible de ne pas sentir, plus ou moins accentuée, plus ou moins nette, une difficulté à interpréter les liens qui unissent la physique mathématique à la physique empirique; et ces liens gardent toujours une part de contingence et d'arbitraire.

Avec le mécanisme, rien de tel. Si l'homogénéité de l'objet de la physique résulte de la méthode et de l'esprit même de cette science, le mathématisme est la conséquence nécessaire et immédiate de cette homogénéité. Il est fondé et légitimé par elle. Plus que cela même; il est inévitable. Et la physique, promotion de la mécanique, devient, comme la mécanique, une science mathématique.

Quelle est, en effet, la condition essentielle qui permet d'appliquer la méthode mathématique et de procéder mathématiquement? On a défini souvent la mathématique la

science de la mesure ; et bien que cette définition soit très incomplète et très insuffisante, il n'en reste pas moins que la mathématique, comme l'indique le nom de quelques-unes de ses parties (géométrie, trigonométrie), compte comme une de ses fins les plus importantes, la mesure, les moyens de procéder directement ou indirectement à la mesure. Le nombre et la notion de grandeur sont liés intimement à la pratique de la mesure.

Il résulte de là que partout où la mesure joue un rôle, les mathématiques ont leur place ; non seulement elles peuvent s'appliquer, mais encore, il faut absolument, nécessairement, y faire appel.

La mesure joue un rôle considérable dans les sciences physico-chimiques. Comme dans la mathématique, bon nombre des parties de la physique indiquent par leur appellation même l'importance de la mesure (calorimétrie, thermométrie, barométrie, photométrie, etc., etc.).

On peut dire qu'une loi naturelle n'est précise que lorsqu'elle énonce un rapport entre deux grandeurs mesurables, et que ce rapport est lui-même mesurable. Vérifier une loi, c'est vérifier la valeur de ce rapport, par la mesure des grandeurs entre lesquelles il est établi. Une expérience scientifique est toujours au fond, une mesure ou un système de mesures, et elle est d'autant plus probante que les mesures sont plus exactes.

La mesure directe ou indirecte de certaines grandeurs est donc la fin de la physique, comme elle est la fin de la mathématique, comme elle est la fin de toutes les sciences, si une loi est un rapport précis, et si un rapport précis est une relation métrique entre des grandeurs.

Or, il est facile de le voir, l'homogénéité de l'objet est la condition *sine qua non* de la possibilité de la mesure. On ne mesure que ce qui est composé de parties homogènes entre elles et à l'unité choisie, que ce qui peut être considéré comme constitué par une addition indéfinie de l'unité à elle-même.

Avec le mécanisme, le problème est donc tellement simplifié qu'il est résolu d'avance. Par son homogénéité, con-

séquence nécessaire de tout le système, l'objet de la science physique est, de lui-même, un système de grandeurs mesurables. La physique doit se transformer progressivement en une science mathématique, et elle ne peut pas ne pas se transformer en une science mathématique. Les phénomènes physico-chimiques sont tous assimilables à des phénomènes simples qui en sont comme les unités élémentaires (phénomènes de mouvement).

20. — Et, toujours par voie de conséquence, le mécanisme énonce une vue des choses physico-chimiques que souvent on lui a reprochée comme un postulat injustifié, et qui n'est encore en réalité que l'aboutissant inévitable de la méthode. Si les phénomènes sont réductibles les uns aux autres, ils sont homogènes ; s'ils sont homogènes, ils sont mesurables ; mais s'ils sont mesurables, ils sont des grandeurs quantitatives. Le domaine physico-chimique fait partie du domaine de la quantité, comme sans doute tout ce qui est susceptible de science. Tout se passe donc comme si l'univers physico-chimique était quantitatif.

Il suffit, en effet, au mécanisme que la méthode suivie depuis la Renaissance ait réussi, que les phénomènes nouveaux aient été progressivement expliqués à la lumière des phénomènes déjà connus, et que cette explication se soit en général réduite, à mesure qu'elle progressait, en termes déjà connus, pour que, sans faire aucune hypothèse sur leur nature dernière, il soit fondé, il soit même nécessairement amené à les considérer comme des quantités. *Tout se passe comme s'ils étaient*, et s'ils n'étaient, au fond, que des grandeurs homogènes, réductibles et mesurables.

C'est ainsi que d'une façon logique et simple, sans efforts de dialectique, le mécanisme assure l'intelligibilité des phénomènes physico-chimiques et l'objectivité intégrale de la physique théorique. S'il est un mérite qu'on ne peut dénier à cette doctrine, c'est celui de la cohérence et de la clarté. C'est aussi celui de la facilité et de la simplicité.

Les critiques du mécanisme lui ont reproché souvent la complexité de certaines explications particulières. Et il s'est trouvé incontestablement chez certains savants, chez

ceux qui se recommandaient le plus manifestement du mécanisme, des hypothèses figuratives fort compliquées pour rendre compte de certains phénomènes. Mais outre que ces hypothèses figuratives n'ont jamais rien eu de définitif, elles ne jouent qu'un rôle très partiel et ne concernent que des détails très spécialisés. Si au lieu de ces particularités, nous regardons, — ce qui est essentiel dans toute théorie systématisatrice, — les grandes lignes, l'assiette, le développement général, nous ne pouvons qu'être frappés de la simplicité et de la clarté, avec laquelle le mécanisme s'établit comme l'aboutissant nécessaire de l'expérience.

21. — On a l'habitude d'unir dans une même formule *l'unité et la simplicité de la nature*. L'expression est devenue classique. Et en un sens, il apparaît à première vue qu'elle est fondée et légitime. Si les phénomènes peuvent être considérés comme les complications successives d'éléments analogues, n'en résulte-t-il pas que la complexité manifestée par les phénomènes se résout en une simplicité réelle? Puisque les conditions auxquelles nous remontons, les causes, sont moins complexes, moins nombreuses que les conditionnés et les effets, puisque l'hétérogène se réduit à l'homogène, la nature est simple.

Au XVIII^e siècle, les partisans du mécanisme, de l'hypothèse des forces centrales ont cru fermement non seulement en l'unité et l'homogénéité de la nature, mais encore en sa *simplicité intégrale*, c'est-à-dire à la simplicité de tous les phénomènes physico-chimiques. De ce que les lois *fondamentales*, les *principes* sont simples, on en concluait arbitrairement, faussement, que *toutes* les lois étaient simples.

Or, lorsque après environ un siècle de travaux, on se trouva amené par la force des choses à reconnaître que si la contexture des phénomènes recouvrait peut-être des éléments homogènes, cette contexture était d'une complication inouïe; qu'on ne la pouvait déjouer qu'en recourant à une méthode statistique, comme dans la théorie cinétique des gaz, ou — ce qui revient au même — en abandonnant le détail pour fixer les grandes lignes de l'en-

semble, comme dans les systèmes d'équations différentielles, alors on eut beau jeu d'objecter au mécanisme la grande erreur de la simplicité des lois naturelles. Presque toutes les reconstructions dialectiques du mécanisme ont affirmé la liaison de la simplicité de la nature avec *l'unité et l'homogénéité des phénomènes élémentaires*. Comme cette unité et cette homogénéité sont une conséquence de la conception mécaniste, elles en concluent que logiquement la simplicité des lois naturelles en est une autre. Il faut accepter à la fois les deux principes, ou les rejeter à la fois. Or, tous les progrès des sciences physico-chimiques conduisent nettement à rejeter la simplicité des lois naturelles. On en conclut que le principe de l'unité de la nature, et par suite que le mécanisme, sont dialectiquement insoutenables.

Une remarque bien simple eût dû mettre en garde contre cette critique facile, si facile qu'on s'étonnerait à bon droit si elle avait la moindre valeur, que tant de savants luttant chaque jour contre la complexité, parfois inextricable des lois naturelles, eussent pu rester mécanistes. Toutes les critiques adressées au mécanisme d'un point de vue non plus dialectique, mais exclusivement scientifique, font au mécanisme le reproche tout à fait opposé. Elles lui objectent ses théories *trop compliquées* quand il descend aux explications de détail, les prodigieux labyrinthes des modèles mécaniques construits pour représenter le gros, — seulement le gros ! — d'un phénomène. Les formules s'embarrassent d'une façon insensée, elles aussi, et souvent sans pouvoir suivre jusqu'au bout le détail de l'hypothèse. Comment concilier ces critiques avec celles qui objectent au mécanisme sa croyance en la simplicité des lois naturelles, et le mettent ainsi en opposition directe avec toutes les sciences physico-chimiques actuelles ?

La conciliation n'est même pas à chercher. Les critiques des savants sont pleinement valables ; les hypothèses mécanistes trop pressées d'entrer dans le détail des phénomènes sont d'une complication inouïe. Le mécanisme proclame par là même sa croyance en la *non simplicité des lois natu-*

relles, d'accord avec tous les travaux scientifiques du xix^e siècle. Ce qu'il affirme quand il dit que la nature est une, c'est que tous les phénomènes en dernière analyse se décrivent et s'expliquent à partir d'éléments d'espèces très peu nombreuses ou de lois statistiques, de moyennes. Mais pour retrouver les phénomènes complexes qui dérivent de ces phénomènes simples et élémentaires, on est conduit à des constructions étrangement compliquées. Nous ne voyons la plupart du temps les choses qu'en gros, en très gros ; nous jalonons le terrain ; nous ne dessinons pas tous les accidents ¹.

22. — La conclusion qui ressort de l'analyse du mécanisme, c'est l'objectivisme de ce système. Le mécanisme, c'est, si l'on veut, la croyance en la réalité de la théorie physique (quand celle-ci a été contrôlée), en donnant dans cette formule, aux mots *croyance* et *réalité*, la même valeur que dans cette autre formule : la croyance en la réalité du monde extérieur.

Le mécanisme prétend s'acheminer au milieu de la multitude des conjectures insuffisantes ou erronées, vers la reproduction de l'expérience physique totale. Au terme, nous devons avoir la description complète de l'univers matériel depuis les phénomènes élémentaires qui en constituent la trame, jusqu'aux détails complexes sous lesquels il apparaît à nos sens.

Mais il ne faut pas oublier que le fond des critiques adressées au mécanisme revient à dire que l'objectivité de ce système n'est qu'apparente et qu'en réalité il fausse les résultats de l'expérience en y surajoutant des hypothèses arbitraires. Cette objection relève directement du cadre de cette étude ; et il faut examiner comment les mécanistes s'en défendent.

23. — Tous allèguent d'abord que les hypothèses qu'on trouve dans la physique théorique qu'ils ont construite sont toujours présentées comme des hypothèses. Ces conjectures ne prétendent à l'objectivité que lorsqu'elles

1. Voir à ce sujet J. PERRIN, *La Discontinuité de la matière* (Revue du mois, mars 1906, p. 323).

seront expérimentalement vérifiées en elles-mêmes ou par leurs conséquences. Faire des hypothèses est un moment nécessaire de la méthode, et une exigence de la découverte. Toute loi a été d'abord une hypothèse. Et pourvu que le départ exact soit fait entre l'hypothèse non vérifiée et l'hypothèse vérifiée ou la loi, l'objectivité la plus complète est sauvegardée. On doit toutefois asservir l'imagination de l'hypothèse si l'on veut qu'elle ait des chances d'objectivité, à deux conditions préalables. Il faut qu'elle soit suggérée par l'expérience, puis vérifiable par elle. C'est à quoi, on l'a vu, ne manque jamais le mécanisme. Bien au contraire, mieux qu'aucune autre école physico-chimique, il satisfait à ces deux exigences ; car plus que toute autre, il se laisse porter par l'expérience, et extrait de l'expérience seule, sans aucune autre considération (utilité pratique, épargne de la pensée, commodité générale) les résultats qu'il prétend définitifs. Et il a grand soin, toujours, de formuler son hypothèse en termes représentables, en termes de perceptions : pour lui, on le sait, intelligibilité ou représentabilité sont synonymes. Toute théorie doit se traduire en termes sensibles, en dernière analyse, figurer une *expé-*

1. PERRIN : *Traité de chimie physique*, vol. I. Préface p. IX-X.

« On peut, en suivant une marche parfaitement logique, se proposer d'imaginer certains *modèles*, mécaniques, électriques ou autres assez simples pour être saisis dans leur ensemble par notre esprit, et pourtant semblables à l'univers en ceci que, tout au moins de façon grossière, leurs propriétés et celles de l'univers se correspondent comme se correspondraient deux phrases écrites en deux langues différentes. Il y aurait déjà là un procédé régulier de découverte, sans que pourtant le modèle employé eût plus de réalité sensible que les équations par lesquelles nous exprimons des lois. Mais il me paraît qu'on a encore le droit d'attribuer aux molécules, atomes ou corpuscules, une réalité plus grande.

Et je ne retombe pas dans la métaphysique. Je ne cesse pas d'oublier que la sensation est la seule réalité. C'est la seule réalité, à la condition d'adjoindre aux sensations actuelles toutes les sensations possibles. Nul ne démentira ce dernier mot s'il veut encore faire de la science ; nul ne refusera d'accorder quelque réalité aux sensations qu'il peut éprouver en ouvrant les yeux ou en tournant la tête. Dès lors, les hypothèses moléculaires peuvent prendre une portée que la comparaison suivante indique suffisamment.

On aurait certainement pu, sans l'aide du microscope, arriver à penser que les maladies contagieuses étaient dues à la multiplika-

rience possible¹. L'hypothèse deviendra théorie lorsque l'expérience de possible sera devenue réelle. L'objectivité la plus stricte est donc toujours l'aboutissant du mécanisme, par quelque côté qu'on l'examine.

Les critiques du mécanisme ont donc confondu hypothèse et affirmation définitive. Ce qui peut présenter de l'arbitraire, et un arbitraire qu'on ne déguise pas, mais qu'on met bien en évidence, c'est l'hypothèse préparatoire, l'anticipation de l'expérience ; la part en est énorme dans une science qui date à peine de trois siècles. Ensuite, ils ont omis de remarquer que l'hypothèse mécaniste est toujours une anticipation de l'expérience ; elle essaye de se formuler en sensations possibles, et non en un algorithme symbolique.

Mais derrière ces critiques qui restent en quelque sorte techniques et contre lesquelles l'attitude tout entière du mécanisme, son organisation interne, ses principes profonds sont une protestation suffisante, il est un état d'esprit plus vague, plus général, peut-être cause lointaine et première de ces critiques. Cet état d'esprit procède d'un point de vue extérieur, aux considérations d'ordre scientifique. Il s'alimente surtout de discussions dialectiques

tion de très petits êtres vivants. On aurait pu, guidé par cette idée *a priori*, découvrir à peu près toute la technique pastoriennne. On aurait fait ainsi de la science déductive et guéri les maladies contagieuses, mais suivant une voie condamnée par les partisans de la seule méthode inductive, tout au moins jusqu'au jour où le microscope découvert eût prouvé que l'hypothèse des microbes exprimait bien des sensations possibles. Voilà donc l'exemple indiscutable d'une structure qui pouvait échapper à nos sens et dont la connaissance permet de prévoir certaines des propriétés qui leur sont directement accessibles.

Qui oserait, dès lors, sérieusement soutenir que le domaine des sensations possibles ne peut pas dépasser le domaine actuel ? Et lorsque les atomistes attribuent à la matière d'apparence homogène une structure granuleuse, opèrent-ils d'une façon bien différente des microbiologistes que j'imaginai tout à l'heure, et doit-on se borner à dire dédaigneusement qu'ils font de la métaphysique ?

Au surplus, et précisément au moment où l'on discutait l'intérêt de la légitimité de leur méthode, les atomistes ont su les prouver à nouveau par d'éclatantes découvertes dont la théorie *corpusculaire* a su faire un ensemble harmonieux. »

qui permettraient au savant, comme à l'historien des sciences, de les négliger. Mais outre qu'elles ne sont pas étrangères au discrédit du mécanisme dans l'esprit de certains savants, il n'en reste pas moins qu'elles prétendent mettre le mécanisme en contradiction avec lui-même et en opposition avec la raison et la logique. Les mécanistes commettraient à leur insu une faute grossière. En croyant respecter l'expérience, ils lui tourneraient tout simplement le dos, car au fond ils expérimenteraient mal. Ils fausseraient systématiquement la réalité. On peut se demander, à vrai dire, comment des expérimentateurs professionnels aient pu être si peu et si mal maîtres de leurs procédés. Mais enfin, le doute, même hyperbolique, mérite d'être mentionné et examiné, avant d'être écarté. Sans suivre la dialectique sur son propre terrain, on peut en confronter les affirmations avec les faits d'observation facile, et voir par là le degré de confiance qu'elles méritent.

Voici, aussi brièvement que possible, la thèse que soutient cette dialectique. L'expérience vraie, le réel, c'est la sensation. La sensation est un état de conscience individuel et spécifique. Il n'y a pas deux sensations identiques. L'expérience bien conçue doit donc nous mettre en face d'une poussière impalpable de phénomènes, où pas un grain ne ressemble à l'autre, où pas un grain même n'est défini et représentable, car il est lui-même, si petit qu'il soit, coloré d'une infinité de nuances. Essayer de définir le réel, c'est l'altérer, car il est ineffable. Faire une expérience, en fixer quelque chose, noter un fait, c'est avoir faussé le réel, l'objet chimérique qui nous échappe de plus en plus, à mesure que nous essayons de l'étreindre.

Le mécanisme n'aurait donc aucune objectivité, bien qu'il affirme qu'il n'est que le décalque de l'expérience, parce que ce qu'il appelle expérience, fait, est l'altération nécessaire du réel. Il veut chasser l'arbitraire *aprioristique*. A mesure qu'il le chasse, cet arbitraire revient au galop.

Avec cette critique, il faut, pour ne pas sombrer dans l'équivoque, s'habituer à un renversement complet des termes usuels. Ce que jusqu'ici on appelait subjectif, les

nuances individuelles et spécifiques du fait de conscience, devient le type de l'objectivité. Et en revanche, le fond objectif constant et permanent que révèle à l'observation et à l'expérimentation tout un ensemble d'images, devient l'altération arbitraire et subjective de l'expérience dans l'esprit du savant. Cette vue de l'esprit est étayée par toutes les conventions de langage qu'exigent l'exactitude et la communicabilité des résultats d'une expérience scientifique, et que les savants ont mis souvent une sorte de coquetterie à faire ressortir, sans songer aux conséquences logiques qu'on en pourrait tirer dialectiquement. Il leur eût été facile, en effet, pour éviter toute méprise, de montrer sous l'artifice indispensable du langage et des conventions métriques, les plus réels des phénomènes naturels que ce langage ne fait que communiquer avec précision.

Un physicien qui n'a pas ménagé ses critiques au mécanisme, et pour qui la valeur objective de la science, si elle existe, pose un problème sérieux, Poincaré, a déjà mis ce sophisme à jour. Il a montré facilement que les phénomènes sensibles, analogues sous leurs nuances spécifiques de détails, recouvraient bien un fond permanent et universel, et que l'expérience scientifique consistait précisément à dégager ce fond permanent et universel.

On peut dire après lui, et d'une façon plus générale, que toute expérience, l'expérience scientifique comme l'expérience vulgaire fixe, définit et abstrait. Mais il s'agit de savoir si ce qu'elle fixe, définit et abstrait, est plus réel que ce qu'elle néglige comme détail fugace, accidentel et comme nuance infime, ou l'est moins.

D'abord dans l'expérience vulgaire, à moins que l'on ait à faire à une sensibilité affinée par une longue éducation esthétique et des dispositions naturelles, la nuance spécifique du phénomène échappe à la sensibilité commune. On ne reconnaît comme réalité s'imposant à notre créance que ce dont tout le monde pourrait témoigner comme nous-mêmes. Jamais personne n'ira prétendre, malgré ses convictions idéalistes, que le réel, l'objectif, ce soit dans le phénomène qu'il observe, à travers un microscope, la

nuance que l'éclairement donna à l'objet, l'altération individuelle et spécifique que son imagination sous l'empire d'une idée préconçue a failli un moment y introduire, les petites hallucinations même que la fatigue de son œil lui impose : troubles, brouillards ou taches. Et pourtant au point de vue d'un empirisme idéaliste, ou d'un positivisme intégral du genre de celui que je discute, voilà ce qui a constitué l'état de conscience, voilà la réalité, l'objectif. Tout le monde s'accordera à reconnaître que rien ne fut plus subjectif. Le réel, l'objectif, raisonnablement (et l'on ne peut discuter qu'au point de vue de la raison), c'est ce en quoi s'accorderont tous ceux qui auront observé la même image, et toutes les observations de chacun des observateurs qui se corrigent eux-mêmes en répétant l'observation, en la fixant et la définissant.

Cette *constatation de fait* peut se répéter *mutatis mutandis*, à partir de l'observation vulgaire, jusqu'à l'affirmation la plus extensive de la physique telle que la conçoit le mécanisme. Et partant, on peut dire avec lui et avec le bon sens que l'objectif, c'est non pas la nuance fugace, spécifique, individuelle, ineffable, mais le fond permanent, constant, universel, défini qui se retrouve dans les nuances fugaces, spécifiques, individuelles, ineffables. L'expérience scientifique doit chercher à retrouver ce fond, et l'expérience et la science, telles que les comprend le mécanisme, n'ont pas d'autre but. Le réel, ce n'est pas ce que chacun met de lui dans un acte de perception, en vertu de sa constitution plus ou moins pathologique ou normale (c'est-à-dire exceptionnelle ou moyenne). Ce n'est pas non plus ce qu'ajoutent dans l'infini des causes et des effets, le détail accidentel, l'interférence fortuite, momentanée et fugitive d'une série causale qui jamais plus ne se produira identiquement (par exemple l'intervention d'une secousse sismique dans une expérience sur la surface d'équilibre d'un liquide). Le réel, l'objectif, c'est ce qui dans des conditions semblables se répète semblablement. L'artifice expérimental, les conventions métriques, n'ont d'autre but que de le dégager et de le communiquer avec autant d'exacti-

tude et de précision que possible. L'expérience, pratiquée dans les sciences physico-chimiques, vise donc à la plus grande objectivité possible, et l'obtient. Et c'est bien par une telle expérience que se fonde, et se fonde uniquement le mécanisme.

Si l'on se souvient maintenant d'une des assises du mécanisme, à savoir que pour lui le phénomène complexe et ses nuances subjectives dérivent de l'interférence de phénomènes aussi concrets, aussi réels que lui, existant au même titre, dans la nature, si l'on se rappelle que l'élément abstrait et général n'est qu'une sensation particulière ou une moyenne statistique de sensations particulières, à laquelle une foule d'autres sensations nous ramènent toujours, comme à leurs conditions nécessaires et suffisantes d'apparition ou de variation, on comprend avec quelle solidité se pose l'objectivité des sciences physico-chimiques dans le mécanisme. Le mécanisme considère la théorie physique comme une description, sans addition ni retranchement, du système réel des sensations que l'homme normal doit ressentir dans des conditions bien déterminées. La théorie physique établit entre les sensations un ordre équivalent à leur ordre naturel ; sous sa forme achevée, elle pose des sensations-conditions, et l'ordre dans lequel va se poursuivre la série des sensations conditionnées à partir de ces sensations-conditions. Lorsque la théorie doit céder le pas à l'hypothèse, l'hypothèse ne doit et ne peut qu'imaginer à son tour à partir de sensations-conditions possibles, un ordre possible de sensations conditionnées.

Si l'existence objective, c'est ce qui peut affecter nos sens, les sciences physico-chimiques, dans l'interprétation mécaniste, ont une valeur objective complète.

CHAPITRE III

Les Tendances actuelles du Mécanisme comparées à ses tendances antérieures et aux tendances des autres théories de la physique.

1. *Le mécanisme antérieur était dogmatique*, intransigeant, pénétré d'absolu. — 2. Le nouveau mécanisme est critique, souple, pénétré de relativisme. — 3. Raisons de cette transformation : a) Les bouleversements amenés par les découvertes nouvelles ; b) La part faite de plus en plus grande à l'hypothèse. — 4. *Phénoménisme du mécanisme actuel*. — 5. Quelles différences subsistent alors entre le mécanisme et les écoles précédentes ? a) Sur l'attitude phénoméniste il n'y en a aucune ; b) Mais il en reste d'abord une concernant le rôle de l'esprit dans la théorie physique ; c) Puis une seconde concernant la représentation figurative des éléments de la théorie ; d) Enfin une troisième : la primauté de représentations empruntée au mouvement dans les représentations physiques. — 6. *Le mécanisme actuel et l'atomisme*. Le vieux mécanisme s'est présenté le plus souvent comme n'admettant que les notions de masse et de mouvement, à l'exclusion de la notion de force. — 7. Cette restriction en a entraîné une autre : l'atomisme. — 8. Comment on devrait historiquement entendre le mécanisme. — 9. Comment en tout cas il doit être entendu actuellement : le système de physique théorique qui s'appuie sur la *représentation* du mouvement, et se trouve par là en continuité avec la mécanique. — 10. Les conséquences de cette définition : a) La remise à longue échéance d'une systématisation définitive ; b) Pas d'hypothèses trop détaillées ni trop minutieuses : les modèles mécaniques ; c) Les équations différentielles, substructure essentielle de la représentation figurative du mécanisme, comme des représentations conceptuelles de l'énergétique. — 11. Conclusions générales sur le mécanisme contemporain.

1. — Si rapidement qu'on fasse l'histoire antérieure du mécanisme, on est frappé de l'allure dogmatique du système. Certes, il fait bien une place à l'hypothèse, mais il la fait

restreinte. Il ne vient pas à l'idée d'un physicien du xvii^e ou du xviii^e siècle d'apporter des restrictions à la portée, à la valeur, à la légitimité de ses inductions. Emettre un doute est une exception. Le physicien, dans l'expérience, souvent grossière, du laboratoire, et dans les conclusions — souvent presque *aprioristiques*, tant elles dépassent les prémisses expérimentales — qu'il en tire, croit avoir découvert immédiatement l'ordre éternel de la nature. Il s' imagine la pénétrer jusqu'en son fond. S'il a supposé, conjecturé, émis des hypothèses alors que tout cela se présentait encore d'une façon confuse à son esprit dans le travail de recherches, aucun doute ne subsiste dès qu'il croit voir clair dans les résultats auxquels il parvient. L'hypothèse est un procédé momentané et accessoire, un détour, un biais qu'on aime peu à avouer. Personne n'aurait l'idée d'une théorie générale hypothétique qui peut rendre pendant de longues années d'incalculables services, mais qui disparaîtra ensuite plus ou moins complètement comme un échafaudage désormais inutile. L'intransigeance et le dogmatisme, voilà bien le ton général de la physique traditionnelle jusqu'au milieu du xix^e siècle, et comme la physique traditionnelle jusque-là, c'est le mécanisme, tel est le ton général du mécanisme.

Ce ton est ce qui a le plus souvent choqué les physiciens contemporains mal disposés pour le mécanisme. Souvent la vivacité, l'âpreté de leurs critiques a eu là sa raison première, profonde, et comme toutes les raisons profondes, à demi consciente. On a attaqué un dogme intransigeant, car on y voyait les dangers d'une scolastique nouvelle ; on a eu plaisir à critiquer vertement là où l'on pouvait le faire à bon droit, et les occasions ne manquent pas dans l'état si imparfait encore de la physique, un système peu complaisant à la critique. L'intransigeance dogmatique, la certitude d'avoir fixé la vérité pour toujours dans un certain nombre de cadres aux lignes simples et bien arrêtées, devaient provoquer, et ont effectivement provoqué, une réaction contre le mécanisme. Surtout lorsqu'on s'est aperçu que tous ces cadres craquaient par endroits les uns

après les autres, et qu'il fallait compliquer étrangement la charpente.

De cet esprit du vieux mécanisme — nous appellerons ainsi le mécanisme traditionnel jusqu'à la seconde moitié du xix^e siècle, — j'ai déjà eu l'occasion de noter maintes conséquences. La croyance à la simplicité de *toutes* les lois de la nature n'est-elle pas venue par exemple de ce que les premières lois trouvées concernaient naturellement les cas les plus simples, ou étaient des approximations assez simples de lois en réalité beaucoup plus compliquées ? L'œuvre physique de Descartes est l'illustration de cette confiance en soi dont faisait profession le mécanisme. N'oublions pas que la première règle de la méthode cartésienne était de ne tenir pour vraies que les choses qu'il avait reconnues évidemment être telles. Les lois du mouvement, la physique qu'il en déduit, lui paraissaient donc évidentes ; et il lui paraissait surtout évident que ces seules lois — très rudimentaires même au point de vue mécanique — devaient suffire à fonder le système de la nature. Bacon et Galilée, bien que ce dernier fût plus près de l'esprit de doute et d'incertitude, Hobbes, Huyghens, les Bernouilli, ne pensent guère autrement. Par beaucoup d'endroits, Newton est plus près de l'actuelle modestie scientifique. Mais si sa fameuse formule : « Hypotheses non fingo », peut et doit dans une certaine mesure être interprétée comme une défiance à l'égard des constructions ambitieuses de la physique de son temps et du mécanisme cartésien, n'est-elle pas aussi, par un autre côté, une formule étrangement dogmatique ? Ne signifie-t-elle pas que ses *Principia philosophiæ naturalis* font partie de la *parennis philosophia*, principes définitifs, immuables et suffisants de l'explication physique ? Et tout le siècle qui l'a suivi n'a-t-il pas vécu sur la physique des forces centrales, érigée en vérité intangible, étrangère à l'hypothèse ? La mécanique analytique de Lagrange, la mécanique céleste de Laplace sont dans leurs grandes lignes des promotions de la physique newtonienne.

Le « vieux mécanisme » se fait donc remarquer par son assurance dogmatique. Le « nouveau mécanisme », celui

qui s'est développé et enrichi dans la seconde moitié du *xix^e* siècle, celui que j'analyse ici, l'a-t-il suivi dans cette voie ?

2. — Poser la question, c'est l'avoir résolue. Il n'y a qu'à ouvrir n'importe quelle œuvre de l'un quelconque des grands physiciens mécanistes contemporains, pour voir que cette intransigeance et cette assurance dogmatiques sont répudiées. « Hypotheses fingo », tels sont les mots qui, à ce point de vue, résumeraient l'esprit actuel du mécanisme. Tous proclament que le cercle des certitudes est un infiniment petit en face du cercle des probabilités, celui-ci un infiniment petit à son tour en face du cercle des conjectures, indubitablement erronées ou insuffisantes, mais qu'on conserve en attendant mieux, et ce dernier enfin, un infiniment petit par rapport au cercle de l'inconnu.

Approximations, la plupart de nos formules, hypothèses, la plupart de nos représentations des phénomènes. La critique à laquelle on a soumis le mécanisme a eu ses bons côtés. Elle a forcé celui-ci à restreindre ses ambitions, à mieux préciser ce qu'il croit acquis, enfin à rétablir la souplesse, la liberté qui ne doivent jamais être exclues de la recherche scientifique. Le nouveau mécanisme donne raison à ses adversaires dans presque toute leur critique.

Une transformation, qui n'atteint en rien l'esprit général du mécanisme, tel qu'il a été défini dans le chapitre précédent, mais très sérieuse par ses conséquences et par l'aspect général qu'elle donne aux sciences physico-chimiques, s'est donc incontestablement accomplie. Le « nouveau mécanisme » est essentiellement libéral, et pour plusieurs raisons.

3. — a) La première et la principale, c'est qu'après l'enivrement bien naturel que produisirent les premiers succès de la science de la Renaissance, le bouleversement continu auquel ont donné lieu les découvertes multipliées dans la suite a montré, en même temps que les difficultés et la complexité de l'énigme à déchiffrer, les insuffisances des premières explications. Une science jeune affirme volontiers et hardiment ; l'expérience ne l'a pas encore mise en

garde. Mais l'expérience ne tarde pas à remplacer l'audace par la prudence. Cette prudence est la caractéristique du « nouveau mécanisme ».

b) La seconde raison est intimement liée à la première. Elle s'en déduit. La construction mécaniste fait une part considérable à l'hypothèse. Son libéralisme est l'effet de sa modestie. Devant les remaniements continuels que la science du jour se voit forcée de faire dans la science de la veille, on hésite à affirmer, à donner une formule définitive, *ne varietur*. L'hypothèse au lieu de rester en dehors de la science proprement dite, et comme un procédé accessoire et individuel, comme une béquille destinée à assurer une marche momentanément chancelante, y prend droit de cité. Autour de quelques certitudes inébranlables par la simplicité de la vérification et la proximité immédiate de l'expérience, s'étendent des champs immenses, défrichés grossièrement. Ils rapportent déjà des moissons abondantes, mais entre les épis drus et riches, les mauvaises herbes, les buissons parasites, les endroits pierreux se multiplient sans même arrêter le travailleur. Il sait que dans l'état actuel de cette grande culture, il chercherait en vain et même il éprouverait dommages sur dommages, à appliquer des procédés plus méticuleux. Un champ n'est pas un jardin. Aussi, tandis que certaines parties de la science, comme la mécanique rationnelle, certains chapitres de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique, de l'optique et de l'acoustique approchent de l'état définitif et immuable, de l'exactitude parfaite, de la précision arrêtée, auxquelles on reconnaît les sciences mathématiques, tandis que l'hypothèse n'y a plus de place, parce que, sans qu'on ait besoin de recourir à ses services, tout s'organise à la satisfaction complète des exigences de la raison ; dans tout le reste, au contraire, les résultats expérimentaux voisinent avec l'hypothèse qui est chargée de les relier et de les systématiser. Comme aux temps de la Renaissance scientifique, dans les parties aujourd'hui définitives, mais qui ne l'étaient point encore, Descartes décrivait et systématisait avec une imagination hardie, ainsi le mécanisme

actuel, suivant en cela un de ses plus grands promoteurs, décrit et systématise, à grands coups d'imagination, dans les domaines qu'il ne fait encore qu'explorer. Il n'attend pas d'avoir tous les éléments dans la main, car c'est en risquant la description et la systématisation qu'il découvre plus loin, pénètre plus profond, diminue progressivement le risque. Mais à la différence de ceux qui l'ont engagé dans cette voie, il ne croit pas aussi ferme à son étoile et à sa chance. Il ne prend pas pour réalisé le bénéfice qu'il espère. Il essaye de démêler nettement ce qui est hypothétique ; et dans ce qui est hypothétique, il veut même évaluer ses chances d'erreur.

Un mécaniste se reconnaît aujourd'hui au rôle qu'il accorde à l'hypothèse. Il n'en fait pas un auxiliaire ; il lui donne la place d'honneur. Il déclare qu'il ne peut avancer, qu'il ne peut même voir clairement où il est, qu'avec elle et grâce à elle. Il la considère mieux que comme un procédé inévitable de la méthode, mieux même que comme un procédé fécond. Il la voit comme une forme universelle de la science, un état permanent d'où certaines connaissances ne sortent que pour laisser place à d'autres. Il avoue l'hypothèse avec la conscience de servir la cause scientifique plus fidèlement que par le silence.

Le mécanisme contemporain vit donc sur l'hypothèse et presque de l'hypothèse. Aussi est-il bien la théorie la moins dogmatique qui soit. Il oppose à ses adversaires ses succès continus dans la découverte, la foule de savants qu'il rallie, les données d'observation sur lesquelles il fonde sa légitimité avec une très grande modestie. Boltzmann dira à la fin d'une conférence sur les principes de la mécanique que pour résumer son exposé, il peut noter que tous les phénomènes organiques et inorganiques, *par un côté*, sont décrits grâce à la mécanique rationnelle d'une façon *plus exacte qu'ils ne le sont* dans toute autre théorie *jusqu'à ce jour*.

Cette formule avec toutes ses précautions n'a rien d'intransigeant ; elle constate un fait, et cherche à ne pas dépasser ce que permet cette constatation¹.

1. BOLTZMAN, *Über die Prinzipien der Mechanik*, p. 35 (Leipzig 1903).

4. — Il n'est pas malaisé de découvrir comment cette transformation générale s'est opérée dans le mécanisme ; comme toutes les autres écoles de la physique contemporaine, il est devenu strictement phénoméniste. C'est un caractère universel de la physique du jour que ce positivisme absolu, si un relativisme peut être absolu. Le mécanisme n'hésite pas à l'affirmer autant que toute autre doctrine.

Le « vieux mécanisme » était dogmatique parce qu'il était métaphysique. Il croyait atteindre la vérité éternelle ; il pensait pénétrer la nature intime des phénomènes matériels, tout comme le spiritualisme traditionnel (dont il était le complément ordinaire) prétendait avoir l'intuition de la nature de l'âme. Aussi, n'est-ce pas un tableau analytique des phénomènes de la matière, que cherche à nous donner la physique du ^{xvii}^e et du ^{xviii}^e siècle, mais une explication complète, intégrale de la nature. Les expressions, les assertions, tout à l'heure citées pour montrer le caractère dogmatique du mécanisme, pourraient être reprises ici, pour montrer son caractère métaphysique.

La notion de cause avait un sens substantiel ; partant, la notion de loi naturelle. Expliquer un phénomène, c'était le réduire à des éléments substantiels qui produisaient, engendraient à la lettre le phénomène par leur action et leurs interactions réciproques. Le mécanisme considérait le fait physique comme une résultante de faits mécaniques (mouvements et forces). L'explication mécanique était donc une réduction à des faits et à des propriétés mécaniques.

La conviction des critiques du mécanisme, c'est qu'il est encore cela, ou qu'il tend constamment sous des restrictions de forme à redevenir cela. Lorsqu'un physicien proteste contre cette métaphysique, on se hâte de déclarer qu'il n'est plus mécaniste, ou qu'il se contredit. Et la plupart des arguments contre le mécanisme sont des arguments qui visent à mettre en lumière la métaphysique consciente et inconsciente contenue dans le mécanisme. L'ouvrage de Stallo sur la *Matière et la physique moderne* est bien remarquable à ce point de vue. La méthode de Stallo consiste à

chercher ce qu'il appelle les causes d'erreur constantes de l'esprit métaphysique et à montrer que le mécanisme est, en fait, la résultante de toutes ces causes ; il formerait comme le cas pathologique idéal de la déformation métaphysique de l'esprit, le monstre métaphysique dans toute sa perfection.

Mais le mécanisme actuel n'envisage que des phénomènes, et la systématisation qu'il propose est un ordre de succession ou de concomitance donné dans l'expérience phénoménale.

La réduction d'un phénomène complexe à un phénomène plus simple est la constatation (ou, s'il n'y a pas encore eu ce sens qu'elle ne nous met jamais qu'en face d'une relation d'un rapport, entre ce phénomène complexe et ce phénomène plus simple. L'explication est absolument relative, en ce sens qu'elle ne nous met jamais en face d'une relation et non d'une cause substantielle, productrice, efficace, d'une cause matérielle. Elle n'établit qu'une liaison réelle ou possible entre des sensations réelles ou possibles.

Et c'est tout. Le mécanisme actuel se défend d'en dire plus ; c'est à cette condition qu'il reste fidèle à son point de départ expérimental, et qu'il assure la certitude objective de la science, en écartant tout appel à une nature absolue des choses. Car dès qu'on sort des données de l'expérience, on introduit avec les fantaisies de la dialectique, toutes les possibilités de doute et de critique.

Ainsi, toutes les affirmations du mécanisme doivent être comprises, non dans un sens dogmatique et substantialiste, mais dans un sens phénoméniste et relativiste.

5. — a) On ne manquera pas de se demander alors quelle différence il y a entre l'énergétique et le mécanisme. Car on n'a pas oublié que l'énergétique est, elle aussi, phénoméniste. La science, aime à dire Mach, est une phénoménologie. Or, le mécanisme à son tour se présente bien comme une phénoménologie. Si l'énergétique est une description des phénomènes, le mécanisme l'est aussi. Et cette remarque peut être faite à bon droit.

Il y a plus. Le mécanisme actuel, qui se présente à son

tour comme un phénoménisme expérimental, ne diffère pas *essentiellement* des autres écoles de la physique. On arrive alors à cette importante conclusion que je développerai davantage quand je tirerai l'enseignement qui se dégage, à mon avis, de cet examen historique : Il y a un esprit général de la physique contemporaine. Et l'on peut dire : « Voilà la physique théorique », pour reprendre le mot de Kant. Elle évolue avec les progrès de la science, mais elle évolue d'une façon unilinéaire, en se complétant et non en se détruisant, en ralliant toujours, à des nuances près, l'unanimité des physiciens : Autant dire qu'elle vise à une organisation *rationnelle* de l'expérience, et à mesure, y parvient. Cette conclusion intéresse au plus haut point le problème de l'objectivité de la physique et fournira les bases les plus sérieuses pour une induction vers une solution définitive.

b) Mais s'il y a une base naturelle et une large base d'accords pour toutes les interprétations de la physique, si celle-ci se dégage de la diversité des tendances, inséparable de toute forme de l'activité humaine, à peu près comme une découverte particulière se dégage des efforts répétés d'une généralisation, il n'en reste pas moins que les tendances sont diverses, que leurs nuances individuelles doivent être relevées par l'historien, car elles portent des enseignements précieux pour déceler les facteurs d'une évolution, et pour aider à la prévision future. Si proche donc que le « mécanisme nouveau » soit, par son phénoménisme, son caractère descriptif de l'énergétique, il en diffère par un autre côté qui n'est point négligeable.

L'énergétique n'admet pas — en gros — que la systématisation théorique soit guidée uniquement par l'expérience. Elle considère que la systématisation dépend essentiellement des exigences de l'esprit et de la connaissance. Le principe d'épargne de la pensée, dans Mach, joue un rôle considérable, et ce principe guide tous ceux qui se rattachent à l'école énergétique. Si Ostwald considère que l'atomisme a fait son temps, c'est qu'il trouve que les théories auxquelles on est amené, lorsqu'on veut raccorder les lois de la phy-

sique expérimentale aux constructions atomiques, sont trop compliquées. Il y a là, dans l'état actuel de la science, une dépense de force inutile. La systématisation doit employer les moyens qui paraissent à l'esprit les plus commodes, les plus aisés à manier, pourvu, bien entendu, que soient respectés tous les résultats de l'expérience, ces résultats constituant pour Ostwald, comme pour Mach et tous les énergétistes, un invariant objectif. Dans l'école critique, bien qu'on fasse à l'expérience une part plus large dans l'élaboration des principes, on les interprète aussi, dans une certaine mesure, en fonction de l'esprit et de ses commodités.

C'est là-dessus que le mécanisme reste intransigeant et garde son objectivisme rigoureux et simpliste. J'ai montré que, s'il ne lui était pas besoin d'un biais pour établir l'objectivité de la physique théorique, c'est qu'il n'admettait aucune intervention perturbatrice dans les résultats de l'expérience. L'esprit est un enregistreur, et dès qu'il n'enregistre plus, il entre dans le domaine de l'hypothèse. Mais ce domaine continue celui de l'expérience, et n'en doit être séparé par aucune barrière. L'hypothèse mécaniste n'admet pas l'intervention de l'esprit comme définitive ; elle ne l'admet que comme provisoire. Il n'y a de certain, au sens étroit du mot, que les résultats de l'expérience. Et la systématisation doit elle-même être un résultat de l'expérience définitive quand elle provient directement des rapports que manifeste l'expérience, hypothétique tant que ces apports sont simplement conjecturés et que l'expérience ne les a pas encore vérifiés. Le mécanisme conserve donc son originalité, par sa subordination complète à l'expérience, même dans ses parties les plus conjecturales. Son phénoménisme n'admet point que l'esprit vienne d'une façon efficace, et pour la modifier jusqu'à un certain point, communier avec l'expérience. A la décrire fidèlement se bornera son rôle.

On pourrait encore sur ce point se méprendre et trouver que le mécanisme est ici infidèle à son point de vue phénoméniste. Le phénomène, dira-t-on, n'est-il point, par

définition, le résultat de la collaboration de l'activité de l'esprit et de l'expérience externe ? Si l'on admet que la connaissance est relative, on admet que la connaissance ne se fait qu'à travers l'esprit, qu'elle est subordonnée à l'organisme mental de notre race, à l'instinct de l'espèce, qu'elle est *humaine* en un mot. La connaissance est relative, parce qu'elle est le résultat d'une relation établie entre les choses inconnues en elles-mêmes et l'esprit inconnu en soi. Supprimez l'intervention de l'esprit et vous retombez sur un dogmatisme immanent. L'énergétique seule en étant phénoméniste serait conséquente avec elle-même.

Mais le mécanisme, qui ne fait point de théorie de la connaissance, car il juge que ce n'est point du ressort de la physique, admettrait très bien cela. Les théories de la connaissance lui sont indifférentes. Que le phénomène résulte d'une collaboration de l'esprit avec les choses ou non, peu importe : il est le *primum datum*, il est le seul *datum*, il est l'expérience. Il est ce que nous cherchons à atteindre et à étreindre d'aussi près que possible par la connaissance, par la science. C'est sur lui que notre esprit agit dans l'œuvre scientifique. Et cette activité, à la seconde puissance, si l'on veut, le mécanisme prétend qu'elle ne doit rien ajouter d'elle-même aux résultats qu'elle produit, tandis que l'énergétique et l'école critique prétendent qu'elle doit toujours leur ajouter quelque chose.

c) Cette différence en entraîne une autre. L'énergétique est essentiellement ce que Poincaré appelle, en caractérisant une étape de l'évolution de la physique, une physique des principes. Elle se soucie peu d'aboutir à une *représentation* des phénomènes, à une figuration imaginative, justement parce qu'elle croit que l'ossature des théories dépend des exigences de la pensée beaucoup plus que de l'expérience perceptive. La systématisation se fait donc au moyen de concepts par lesquels l'esprit cherche à manier commodément les phénomènes, et ces concepts ou principes sont formés par l'esprit, avec le concours de l'expérience certes, mais aussi en vue de l'utilisation facile par l'esprit

des données de cette expérience. Le mécanisme, au contraire, asseoit ses théories sur des éléments représentables, soit qu'il les tire de l'expérience, soit qu'il les conjecture comme pouvant être retrouvés un jour dans l'expérience, comme une expérience possible. La base des théories mécanistes sera donc toujours une représentation perceptive ; sa figuration doit parler à l'imagination ; et comme dans la psychologie réelle, et comme dans le nominalisme strict, la pensée conceptuelle n'est qu'un symbole, un papier-monnaie. Son usage n'est tolérable que s'il correspond à un fond perceptif. L'intelligible n'a de valeur que par le sensible dont il est inséparable.

d) Or, et nous arrivons au terrain même sur lequel combattent et se critiquent énergétistes et mécanistes, quelles sont ces bases représentatives de la théorie mécaniste ? Ce sont des sensations de résistance et de mouvement. Toute théorie mécaniste nous fait retomber sur des termes d'étendue (Descartes) ou d'impénétrabilité, de résistance (Leibniz-Newton). Pourquoi ? Je l'ai déjà dit : C'est que toute expérience revient en définitive à des mesures. Une mesure est une variation d'étendue, un déplacement dans l'espace, une sensation de mouvement. Une sensation de mouvement est presque toujours liée à un repère qui comporte une sensation de résistance ; c'est par cette sensation que s'évalue le mouvement qui se produit, sa force. Toute expérience nous fait donc retomber, du moins jusqu'à présent, et tout porte à croire qu'il en sera toujours ainsi, sur des phénomènes mécaniques. Si l'on ajoute à cette raison, cette autre raison qui lui est nécessairement corollaire, que les phénomènes les plus simples et, par conséquent, les premiers étudiés dans la nature, ont été le mouvement et tout ce qui s'y rapporte, que par suite on a progressivement connu les phénomènes inconnus, en les réduisant à ceux qui étaient primitivement connus, on en conclut que la systématisation à laquelle devait aboutir une théorie qui veut être le décalque de l'expérience, est une systématisation mécaniste. Et voilà comment le mécanisme phénoméniste reste bien le mécanisme, et continue à se différen-

cier de l'énergétisme, tout en s'étant rapproché singulièrement, par un autre côté, de cette théorie, si on le compare au mécanisme traditionnel.

6. — Le mécanisme contemporain entend, d'ailleurs, d'une manière originale, la façon dont il rattache la physique à la mécanique pure. Cette originalité marque la troisième grande différence qui sépare le mécanisme actuel de ses formes antérieures.

Jusqu'ici, quand on définissait le mécanisme, on avait coutume d'opposer absolument mécanistes et dynamistes. Cette opposition entraînait de nombreuses difficultés et ne correspondait guère à la réalité scientifique. Car étymologiquement, le mécanisme est la systématisation qui explique les phénomènes en continuité avec ceux de la mécanique. Or, la mécanique depuis Newton admet aussi bien la notion de force que la notion de masse et de mouvement.

Il est vrai que Newton n'ajoutait aucun sens métaphysique à la notion de force. C'est pour lui la dénomination d'un coefficient nécessaire pour la théorie du mouvement ou plus exactement la dénomination d'un vecteur.

Cependant, comme les physiciens étaient portés à donner une signification métaphysique à leurs théories, comme le « vieux mécanisme était », ainsi qu'on vient de le voir, dogmatique et métaphysique, il s'ensuit que l'on chercha toujours, jusqu'au milieu du xix^e siècle, des réalités sous toutes les expressions que l'on employait. On ne se contentait pas de vouloir décrire l'ordre des phénomènes, on voulait en partant de la réalité absolue en rendre complètement raison. Le vieux mécanisme n'était pas une représentation (la seule représentation possible, étant donnés les choses et notre esprit), mais l'analyse exacte des choses. En conséquence, tous les principes et tous les éléments de la mécanique étaient les principes et les éléments des choses ; on les rendait indépendants de toute condition empruntée à la nécessité de la connaissance et de la représentation.

Il en résulta ceci : La masse ou la quantité de matière

était quelque chose de tangible et de visible. On pouvait la concevoir existant comme elle était perçue ; de même pour le mouvement, mais la force ?... N'était-on pas en présence d'une notion toute subjective ? Pouvait-on se représenter la force sous une forme tangible et visible, pouvait-on la considérer et l'individualiser comme une chose ? La psychologie de l'époque ne connaissait pas l'image musculaire ou kinesthésique, qui joue un rôle prédominant aujourd'hui dans les théories de l'évolution de la conscience. Fidèle à la théorie des *cinq* sens, elle n'en connaissait point d'autre ; elle ne pouvait pas assimiler la représentation musculaire d'une force avec la représentation d'une portion d'étendue, limitée par des contours impénétrables. Pour le mécanisme du XVIII^e siècle, si nous suivons exactement ses propositions, une chose qu'on peut concevoir, une chose intelligible, est une chose perceptible. Il n'y a de perceptions que celles des cinq sens, et dans celles-ci il n'y a de claires que celles du tact et de la vue (on pourrait presque dire celle de la vue seulement, si l'on songe à Descartes et aux savants de la Renaissance). On arrive fatalement à cette conclusion : La notion de force doit être une notion dérivée et réductible. Elle n'est pas une réalité objective, une chose. Le nominalisme des mécanistes, leur goût de la chose expérimentée, de la chose touchée, vue, même chez les moins empiriques comme Descartes dont les conceptions physiques sont toutes des représentations visuelles, tout cela devait chez les esprits systématiques faire naître une tendance à exclure la force des principes et des éléments irréductibles du système. De là, toutes les résistances chez les cartésiens du XVIII^e siècle à accepter la mécanique newtonienne et l'hypothèse des forces centrales. De là, le reproche adressé à Newton, de vouloir restaurer les qualités occultes, de déroger au nominalisme, à la clarté et à la distinction, à l'intelligibilité considérées à juste titre comme les conquêtes définitives de l'esprit moderne. De là, les erreurs qu'on multiplie dans l'interprétation de la pensée de Newton.

Les philosophes qui par définition sont les plus systé-

matiques et les plus généralisateurs des hommes, ne pouvaient manquer de remarquer ces tendances et de les considérer comme l'expression claire et distincte du mécanisme. Aussi dans la critique scientifique, qui resta jusqu'à ces derniers temps l'œuvre à peu près exclusive des philosophes, et dans l'histoire des sciences qui ne peut s'établir que sur cette critique, le mécanisme prit-il le sens d'une doctrine qui ne s'appuyait que sur les notions de masse et de mouvement.

Ce qui accrédita l'erreur, c'est que nombre de savants ne cessèrent jamais de marier les conclusions métaphysiques aux résultats scientifiques ; ils rabaissaient les premières à une banalité vulgaire, à une philosophie à œillères, singulièrement mal informée de certains problèmes, surtout de ceux qui concernent la nature de la connaissance et de l'esprit, et faussaient les seconds en voulant à toute force leur faire dire ce pourquoi ils ne sont pas faits. Tous ils donnaient au mécanisme son sens le plus étroit, le plus dogmatique et le plus métaphysique. Mais comme c'étaient à peu près les seuls qui vulgarisaient (le mot n'eut jamais un sens plus plein) les sciences physico-chimiques, les seuls que connaissaient la plupart des philosophes, le mécanisme fut pris en général dans cette acception.

Presque toutes les critiques du mécanisme que nous avons examinées jusqu'ici ont été influencées et très fortement par cette extension d'une tendance particulière et spéciale de certains mécanistes, ou par cette restriction arbitraire de la doctrine. On a vu, étudié, critiqué le genre à travers l'espèce ¹.

7. — Mais cette confusion relative au sens de la doctrine mécaniste n'a pas été la seule, car elle en a entraîné d'autres à sa suite. Le mouvement ne paraissant clairement représentable à la réflexion commune que s'il est rapporté à des éléments fixes, le mécanisme traditionnel a été restreint à l'atomisme.

Les deux conceptions se mêlèrent dans l'esprit de cer-

1. STALLO, *La matière et la Physique moderne*, p. 11, 12. (F. Alcan !

tains philosophes peu savants, ou de certains savants peu philosophes. L'atomisme devint la pierre angulaire du mécanisme¹, tel qu'on l'expose dans la première moitié du XIX^e siècle, et tel qu'on l'expose encore trop souvent, de seconde et même de troisième main.

8. — C'est oublier que le mécanisme est un genre qui comprend plusieurs espèces : l'atomistique tel que le décrit Stallo en est une, la physique des tourbillons telle qu'on la trouve dans certaines conceptions d'Helmholtz et dans la conception de lord Kelvin en est une autre, l'atomistique complété de l'hypothèse des forces centrales en est une troisième. La première considérerait comme principes élémentaires irréductibles, la masse distribuée d'une façon homogène par atomes isolés et le mouvement ; la seconde, un fluide continu en mouvement, la masse étant créée par le mouvement tourbillonnaire du fluide ; la troisième, la masse, la force et le mouvement. Hirn, qui a lutté contre l'atomistique et a vu l'avenir de la physique dans un dynamisme, ne croyait pas sortir de la grande route du mécanisme. Au contraire, il croyait aplanir cette route ; Clausius, également partisan énergique de la notion de force, de même. D'autre part, Kirchhoff en supprimant la notion de force, et Hertz en poursuivant cette suppression dans des domaines négligés par Kirchhoff, et en réalisant un système adynamique, n'avaient d'autre but que de faire progresser une physique mécaniste. Boltzmann, en épurant, après Maxwell, la théorie cinétique des gaz, ne poursuit pas une autre fin. Helmholtz et surtout lord Kelvin et les autres physiciens anglais, qu'ils soient partisans d'une matière continue ou discontinue, qu'ils maintiennent l'hypothèse des forces centrales ou la proscrivent, se croient dans la pure tradition mécaniste. Purs mécanistes, et à certains points de vue, plus mécanistes que quiconque, et représentant l'aboutissant du mécanisme, ceux qui, à la suite de Lorentz et de Larmor, formulent une théorie électrique de la matière et arrivent à nier la constance de la

1. STALLO, *La matière et la Physique moderne*, p. 12.

masse en en faisant une fonction du mouvement. *Tous sont mécanistes, parce qu'ils prennent leur point de départ dans des mouvements réels.*

Vouloir réduire le mécanisme à telle formule stricte, à la formule de l'atomistique de la première moitié du xix^e siècle, puisque c'est encore la traduction pour beaucoup de ses critiques, c'est se refuser à comprendre le mécanisme contemporain, son phénoménisme, son relativisme, sa souplesse, son véritable point de vue.

Et à quelles contradictions, à quelles confusions n'est-on pas conduit dans cette manière de voir, volontairement restreinte ? Stallo, dont on cite partout l'ouvrage comme une représentation fidèle de l'état de la physique moderne, n'est-il pas conduit dans ses premiers chapitres d'exposé à des discordances étonnantes ? Le mécanisme exclurait la notion de force, et dans le premier chapitre chargé d'amener cette définition du mécanisme, je trouve presque partout, avec les citations qu'il fait des physiciens mécanistes, des dérogations à cette définition, par l'admission explicite de la notion de force.

9. — Qu'est-ce donc qui reste comme caractéristique essentielle du mécanisme actuel ? Il reste ceci : la physique théorique doit demeurer en continuité avec la mécanique et se fonder sur la notion du mouvement, partant en accord avec les principes requis pour l'explication du mouvement. Tout phénomène physique peut donc légitimement se représenter par un agencement de mouvements perceptibles (donnée d'une expérience réelle ou possible), par un mécanisme. Cette représentation n'est pas seulement possible, elle est nécessaire. Et je crois que, en reprenant toute l'histoire des sciences physico-chimiques, on pourrait montrer que le mécanisme — comme son nom l'indique, — n'a jamais désigné autre chose. Seulement, les contingences historiques, les progrès de la mécanique eux-mêmes, les intransigeances des savants et de ceux qui parlèrent en leur nom ont restreint parfois son sens.

Aujourd'hui, et depuis le dernier tiers du xix^e siècle, il n'est pas possible de se méprendre. La multiplicité des

hypothèses et des conceptions que nous trouvons dans le mécanisme actuel, parallèlement à l'unité de l'esprit général, sa résistance au dogmatisme et au réalisme métaphysiques, n'autorisent plus que cette définition : le mécanisme est la théorie qui considère les sciences physico-chimiques comme continues avec la mécanique, comme fondées sur la *représentation de mouvement* qui est, *in abstracto*, l'objet de la mécanique. Plus simplement encore le mécanisme est la théorie qui considère les phénomènes (ici les phénomènes physico-chimiques) comme adéquatement représentables par des mouvements (par des mécanismes).

Quelles sont les conséquences de cette définition ?

Elle contient précisément tous les caractères qui ont paru constituer le patrimoine du mécanisme : goût de l'expérience et goût de l'intelligibilité, du fait perceptible et de la définition claire et distincte ; par suite, progression du connu à l'inconnu et marche du fait au fait ; réduction des phénomènes naturels à l'unité, substitution du point de vue quantitatif au point de vue qualitatif, nécessité des hypothèses figuratives, tout cela pourrait logiquement se déduire de la définition donnée.

10. — Pascal disait déjà en exposant les principes de la théorie mécaniste : « Il faut dire en gros que cela se fait par figure et mouvement. Mais de dire quels, et composer la machine, cela est ridicule car cela est inutile, et incertain, et pénible. » Cette phrase, si souvent citée par les adversaires du mécanisme et contre le mécanisme, précise ce qu'est le mécanisme contemporain, ce qu'il veut être délibérément chez certains savants, ce qu'il tend inconsciemment à être chez les autres. On a perdu en général l'espoir d'arriver à une vue absolue des choses, l'espoir autrefois caressé par les métaphysiciens atomistes ou strictement cartésiens.

Le relativisme non seulement a borné nos ambitions à la connaissance des phénomènes, mais encore a donné à cette systématique phénoméniste, et qui ne veut plus être que phénoméniste, de très importants caractères.

a) C'est d'abord la remise à très longue échéance d'une

systématisation définitive. Personne n'a plus la prétention de croire que nous avons atteint la matière dans sa réalité absolue et immédiate ; personne n'a donc plus la prétention de reproduire avec les éléments *que nous avons entre les mains*, la nature elle-même. Personne, par suite, ne peut considérer que les éléments auxquels l'état actuel de la science nous ramène constamment sont les conditions nécessaires et suffisantes d'une systématisation définitive. La région obscure est si vaste par rapport à celle de la pénombre, et celle-ci, si grande encore par rapport au cercle d'éclairement, qu'il y aurait folie à parler d'une théorie immuable.

Mais il faut bien l'entendre. Si, par exemple, les hypothèses récentes de Lorentz, de Larmor et de Langevin¹,

1. « Sous certaines conditions les gaz ou les vapeurs émettent des radiations lumineuses ; décomposées par le passage à travers un prisme, celles-ci se divisent en un certain nombre de raies (raies spectrales, dont la couleur, le nombre et la disposition sont tout à fait caractéristiques de la nature du gaz ou de la vapeur qui les émet) ; ainsi ces raies ne sont pas les mêmes pour l'hydrogène, la vapeur de fer ou la vapeur de cuivre.

Pour expliquer cette émission de lumière différente par les divers atomes, le physicien hollandais Lorentz et, ensuite le physicien anglais Larmor ont été amenés à considérer l'atome comme un monde aussi complexe, j'allais dire aussi grand relativement que le système solaire. Voici, en effet, l'idée qu'ils se sont faite de l'atome. Au centre, un noyau chargé d'électricité positive autour duquel tournent de petits corps chargés d'électricité négative, comme les planètes tournent autour du soleil. C'est la rotation de ces petits corps qui imprime à l'éther environnant les vibrations constitutives de la lumière toutes les fois que par une cause extérieure à l'atome leur trajectoire est légèrement perturbée. La périodicité de la vibration lumineuse ainsi émise est la même que la périodicité du mouvement tournant de ces petits corps autour du centre de l'atome. La périodicité de la vibration lumineuse émise étant connue avec une très grande précision, il en est de même, par conséquent, de la durée de rotation du petit corps tournant qui lui a donné naissance, puisque ces deux grandeurs sont égales. Le nombre de tours que font ces petits corps gravitant autour du noyau central de l'atome dépend de leur distance à celui-ci, il est donc variable dans un même atome suivant le petit corps tournant considéré. En moyenne, ce nombre de tours est 500 trillions par seconde. Je ne sais si vous vous faites bien une idée de l'énormité de ce nombre : il est égal à 8.330 fois le nombre de secondes qui se sont écoulées depuis la naissance du Christ jusqu'à nos jours.

arrivaient à avoir, grâce à certaines concordances expérimentales, une base suffisamment solide pour asseoir la systématisation physique, il serait certain que les lois de la mécanique actuelle ne seraient plus qu'une dépendance

Or les lois de l'électricité expliquent cette énorme vitesse de rotation en admettant que ces petits corps ont la même masse et la même charge électrique que le corpuscule rencontré dans les rayons cathodiques. »

« On a pu se faire une idée de la grosseur d'un corpuscule et de sa distance moyenne au centre de l'atome. On a trouvé qu'en prenant pour unité de longueur le diamètre d'un corpuscule supposé sphérique, la moyenne des distances de ceux-ci au centre de l'atome est exprimé à peu près par le même nombre que la distance de la terre au soleil, en prenant comme unité de longueur le diamètre de la terre. Ainsi, proportionnellement à leur grosseur, les corpuscules sont aussi loin du centre de l'atome que les planètes le sont du centre du soleil. Vous voyez combien est juste la comparaison entre le système solaire et le système atomique.

Le nombre des corpuscules qui gravitent autour du centre de l'atome est considérable. L'atome d'hydrogène, qui en renferme le moins, en contient un nombre probablement compris en mille et deux mille. Les atomes des autres corps simples en renferment des nombres proportionnels à leur masse. Ceux qui ont des masses relativement élevées, comme l'atome de l'uranium ou celui du radium, en possèdent probablement plus de 300.000.

... Le corpuscule est toujours identique, qu'il provienne d'atomes de fer, de cuivre, d'hydrogène, etc. Il n'est pas impossible que le noyau positif soit lui aussi constitué par des parties identiques dans les atomes de toutes natures. Les atomes différeraient alors, non par leur matière constitutive, mais par la quantité positive de matière positive ou *électron positif*, et par le nombre, la disposition des corpuscules ou *électrons négatifs*. Ainsi il se peut que la théorie corpusculaire conduise à l'unité de la matière, idée si chère aux esprits philosophiques ; unité pourtant pas tout à fait, puisqu'elle nécessiterait deux matières fondamentales distinctes : l'une l'électron positif, l'autre l'électron négatif inséparable d'une charge d'électricité négative. Mais cette petite complication amènerait une autre simplification importante : ces deux matières se confondraient avec les deux électricités elles-mêmes.

Enfin un des résultats les plus importants de la théorie corpusculaire est dû au physicien allemand Abraham. Il a montré que l'inertie, cette propriété fondamentale de la matière, reconnue depuis Galilée, est une conséquence nécessaire du principe de la conservation de l'énergie et des lois antérieurement connues de l'électromagnétisme, si l'atome est constitué par de petits corps électrisés très éloignés les uns des autres par rapport à leur grosseur, c'est-à-dire si l'atome a précisément la constitution que les conditions précédentes ont fait admettre. La masse de la matière paraît ainsi être entièrement due à un phénomène électromagnétique. La loi fonda-

des lois de l'électromagnétisme ; elles en formeraient comme un cas spécial dans des limites bien déterminées. La constance de la masse, notre principe de l'inertie ne seraient plus valables que pour les vitesses moyennes des corps, le terme « moyen » étant pris par rapport à nos sens et aux phénomènes qui constituent notre expérience générale. Un remaniement général de la mécanique s'en suivrait et, par suite, un remaniement général de la systématisation physique.

Le mécanisme serait-il abandonné ? En aucune façon ; la pure tradition mécaniste continuerait à être suivie, et le mécanisme suivrait les voies normales de son développement.

D'abord les lois de la mécanique actuelle continueraient à s'appliquer telles quelles, entre certaines limites. Elles

mentale de la conservation de la masse, qu'on trouve toujours exacte dans les phénomènes de toute espèce, chimiques, physiques ou mécaniques, n'est plus qu'un corollaire de la conservation de l'énergie, avec les nouvelles idées sur la constitution de la matière.

Loin de vouloir chercher l'explication des phénomènes électriques et magnétiques dans les lois de la mécanique rationnelle, comme on l'a tenté infructueusement, il apparaît maintenant qu'on doit au contraire chercher à déduire les lois de la mécanique rationnelle de l'électromagnétisme. La mécanique sera assise alors sur des bases plus larges et par conséquent plus solides.

Il résulte de la théorie de M. Max Abraham que la masse d'un corps n'est indépendante de sa vitesse que lorsque celle-ci est faible par rapport à celle de la lumière. C'est le cas de toutes les vitesses étudiées jusqu'à présent en mécanique, même celle des planètes. Mais si la vitesse se rapproche de celle de la lumière, la masse augmente avec la vitesse et tend vers l'infini quand la vitesse se rapproche indéfiniment de celle de la lumière, ce qui fait qu'un corps ne pourrait jamais être animé d'une vitesse égale ou supérieure à la vitesse de la lumière.

Cette conséquence de la théorie de M. Max Abraham a été justifiée par l'expérience. Il s'échappe des corps radioactifs des corpuscules qui, sous tous les rapports, sont identiques à ceux des rayons cathodiques, on a pu mesurer leur vitesse et leur masse par les procédés que nous avons indiqués. On a trouvé pour ces corpuscules des vitesses variables ; pour quelques-uns cette vitesse atteint les 95/100 de la vitesse de la lumière. Or à mesure que la vitesse devient plus grande, on trouve que la masse devient plus grande aussi et conformément aux nombres déduits de la théorie de M. Abraham. » M. H. PELLAT, *Le nouvel état de la matière* (Revue scientifique, 29 avril 1905, p. 518, 519).

gouverneraient toujours les phénomènes qu'elles gouvernent actuellement. Et puis, c'est par une série d'extensions généralisatrices de la mécanique actuelle, extensions rendues possibles par les découvertes qu'elle a suggérées, les tentatives d'explications qu'elle a apportées, c'est par son devenir normal à partir des premiers éléments qu'elle a posés et qui, historiquement, devaient l'être parce qu'ils résumaient les cas privilégiés les plus simples, qu'on se serait élevé à cette systématisation nouvelle. Enfin la notion du mouvement resterait toujours le centre du nouvel édifice. La notion de mouvement ? Il serait même plus précis de dire « la *représentation* de mouvement », car il s'agit d'images perceptives et non de notions conceptuelles.

La physique électronique est une théorie figurative et une théorie cinétique. Elle reste en continuité avec la mécanique, parce qu'elle considère que son objet est homogène avec celui de la mécanique. « C'est une théorie mécanique puisqu'elle fait intervenir des forces, des déplacements, des vitesses, des accélérations, sous des formes analytiques qui sont celles de la mécanique rationnelle. Mais c'est une mécanique généralisée, car l'inertie et la force vive n'y sont plus liées à des masses pondérables, et la mécanique des corps pondérables n'en serait qu'un cas particulier¹. » Le mécanisme évolue en même temps que l'expérience transforme l'explication des phénomènes mécaniques.

Le nouveau mécanisme pousse donc jusqu'à ses dernières limites la logique de son empirisme. A mesure que l'on s'éloigne des faits particuliers, les généralisations doivent prendre un caractère hypothétique, vague et plus ou moins mal assuré. Ce qui est solide, c'est l'expérience ; ce qui devient aléatoire, ce sont les généralisations que, sur la foi de l'expérience certes, mais dépassant de beaucoup ce qu'elles pourraient strictement permettre d'affirmer, nous sommes conduits à tenter par les nécessités de la méthode heuristique. Lors donc que l'on prétend retrou-

1. LIPPMANN, préface à la *Théorie moderne des phénomènes physiques* de Righi, p. 4.

ver dans un cercle de plus en plus étendu la même expérience privilégiée (ce qui est la voie normale par laquelle on la généralise en un principe) on multiplie les interpolations, et avec elles les hypothèses et les affirmations prématurées. Un principe n'est solide que dans les limites des expériences qui ont établi son sens toujours moins étendu que celui que la théorie (donc l'hypothèse) veut lui attribuer, et doit même lui attribuer, pour avancer plus loin dans la science. Ceci explique en même temps que la solidité du principe en son sens restreint et rigoureusement empirique, les risques inévitables de toute théorie générale, par suite des additions importantes que fait l'hypothèse à l'expérience ; de là les modifications incessantes des théories et parfois leur bouleversement profond. Seul, un caractère fondamental, essentiel demeure sous tous ces changements : la théorie mécaniste emploie toujours des éléments figurés, intuitifs, empruntés à la représentation du mouvement qui est l'intuition quantitative du changement, et par suite elle est toujours reliée à la mécanique.

b) La logique interne de sa réforme phénoméniste a fait prendre au mécanisme un autre caractère qui résulte du précédent et, autant que lui, mérite de fixer l'attention. La systématisation physique dans l'ancien mécanisme était poussée fort loin. Pascal ne ménage pas ses plaisanteries à ceux qui multiplient les hypothèses baroques sur la constitution de la matière, essayant, sur un terrain où nous savons si peu, de nous donner l'illusion de conceptions presque définitives et complètes. La constitution dernière des phénomènes, assignée avec précision et d'une façon complète, non seulement était, du temps de Pascal, un mythe, mais elle l'est encore aujourd'hui. Moins que jamais, la mythologie doit faire partie de la science. On comprend qu'elle pouvait avoir quelques attraits, alors qu'on croyait que la science pouvait satisfaire notre désir d'absolu. La mythologie mécaniste était une conséquence presque forcée de cette prétention orgueilleuse. Elle serait aujourd'hui un non-sens ou un contre-sens dans le mécanisme nouveau, beaucoup plus modeste.

Aussi professe-t-il avec la plus grande netteté que la systématisation n'a de valeur et de sens que pour assigner les *très grandes* lignes de l'ordre général des phénomènes. Il ne s'agit plus de construire une nature exactement conforme à la réalité des choses. Il ne s'agit même plus de construire une nature exactement conforme à la réalité phénoménale. Cette entreprise sera peut-être, un jour lointain, possible. Elle serait chimérique actuellement. Il s'agit simplement de préparer du mieux que l'on peut et de très loin, cette construction. Aussi s'en tiendra-t-on aux grandes lignes qu'une expérience constamment confirmée, que des hypothèses constamment fécondes, nous permettront de tracer. On construira une représentation très schématique, effleurant seulement les apparences phénoménales, bonne tout au plus à les classer, à diriger l'investigation, à provoquer la découverte. Cette représentation visera surtout à retracer l'ordre des phénomènes en allant non pas du général au particulier, ces expressions sont équivoques, mais du simple au complexe, du clair au confus, du connu à l'inconnu, ou, si l'on préfère, du moins mal connu à ce qui est encore ignoré.

Le système mécaniste se réduit à un réseau à mailles très larges, aussi larges que possible. Ce réseau a assez de souplesse pour enserrer sans se briser ou se distendre les lois particulières quelles qu'elles soient avec les amendements, les retouches, que les découvertes amènent incessamment.

Sous ce réseau encore, des hypothèses plus détaillées (mais alors très conjecturales et tout à fait transitoires), qui n'ont d'autre prétention que préparer la découverte, peuvent prendre momentanément place.

Il s'accommode à elles toutes, car il a été construit pour pouvoir s'adapter à toutes. C'est ainsi que des hypothèses contradictoires peuvent parfaitement être essayées pour rendre raison de phénomènes différents. Qu'importe, les progrès de la science remettront les choses en place ; mais ces hypothèses contradictoires toutes à la fois peuvent se déduire de la théorie générale, car elles supposent aussi

bien les unes que les autres, les éléments primitifs et les principes de la systématisation. Lodge, par exemple, peut représenter deux phénomènes électriques à l'aide de deux constructions incompatibles entre elles. Il n'en reste pas à représenter deux phénomènes électriques à l'aide de deux principes de la systématisation mécaniste. Si l'une est vraie, l'autre ne peut pas l'être en même temps ; mais nous ignorons momentanément laquelle est la vraie et l'une peut aussi bien l'être que l'autre¹ ; toutes deux même peuvent être fausses sans rien changer dans l'ensemble du système. Ces constructions passagères, adjuvants nécessaires de la théorie, sont les « modèles mécaniques » ; l'expression très heureuse inventée par les physiciens anglais a eu dans la critique de la science, une fortune qui n'est peut-être pas toujours de très bon aloi.

Qu'est-ce donc qu'un modèle mécanique ? C'est une hypothèse de détail, une hypothèse toute provisoire qu'un savant construit pour voir clair dans ce qu'il sait ou croit savoir d'un phénomène, pour ordonner, relativement à lui, ses notions et ses recherches, pour provoquer les analogies, les associations d'idées fécondes qui, comme chacun sait, sont l'âme de la découverte. Les mécanistes pensent ne pouvoir procéder à leurs investigations qu'en imaginant de telles hypothèses, de telles suggestions représentatives.

Beaucoup de ces modèles sont individuels ; ils n'ont de valeur que pour l'imagination qui les a créés ou pour les phénomènes qu'ils ont servi à éclaircir. Beaucoup encore ne seront jamais connus, n'auront jamais pris pied, si peu que ce soit, sur le terrain scientifique, parce que le savant qui s'en est servi n'a pas jugé utile de nous donner ses constructions, ses hypothèses, ses tâtonnements. D'autres, plus généraux, mieux adaptés, plus satisfaisants et plus féconds ont, dans l'histoire des sciences, une certaine célébrité.

1. De même M^{re} CURIE (*Revue scientifique* du 24 novembre 1906) conclut sa leçon d'ouverture, en avertissant, après avoir exposé l'hypothèse particulière à laquelle elle se rallie, touchant la source de l'énergie dégagée par le radium, qu'on tienne compte des autres, car elles peuvent avoir leur intérêt et leur fécondité.

Or, la plupart des reproches superficiels qu'on a faits au mécanisme, à la science mécaniste et même à la science tout court, sont tirés de l'emploi des modèles mécaniques. On a assimilé explication mécaniste, mécanisme et modèle mécanique. On a même assimilé explication scientifique et modèle mécanique.

Cependant les mécanistes modernes ont multiplié les précautions contre cette méprise. Ils ont tenu à cœur de montrer que ces modèles mécaniques n'ont rien qui puisse leur faire jouer le rôle des constructions métaphysiques de l'ancien mécanisme. Ils leur ressemblent par leur aspect général, leur physionomie. Mais tandis que dans l'ancien mécanisme, la forme des éléments figurés, détails par détails, les enchaînements qui relient ces éléments, leurs jeux et leurs réactions réciproques avaient pour but de reconstituer la nature jusque dans ses moindres parties, et de nous faire pénétrer dans le laboratoire de la création, les rouages et les articulations des modèles mécaniques n'ont d'autre ambition que d'apporter un secours temporaire à l'esprit du savant, que de rendre claires pour lui et représentables aux autres certaines propriétés, certaines lois des phénomènes¹.

Cela nous explique ce que nous devons entendre quand nous disons que toute théorie mécaniste doit s'appliquer sur des éléments figurés et la valeur exacte de ces éléments. Dans le mécanisme, *il est nécessaire* qu'il y ait des éléments figuratifs. Mais dès qu'on entre dans le détail, *il n'est plus nécessaire*, actuellement du moins, que ces éléments aient telle figure plutôt que *telle* autre.

c) Ce qui remplace dans le mécanisme nouveau les constructions de l'ancien mécanisme, c'est la *démon-*

1. « Il me semble que le vrai sens de la question : Comprendons-nous ou ne comprenons-nous pas un sujet particulier de physique ? est celui-ci : Pouvons-nous faire un modèle mécanique correspondant ?... Je ne suis jamais satisfait, tant que je n'ai pas pu faire un modèle mécanique de l'objet ; si je puis faire un modèle mécanique, je comprends : tant que je ne puis pas faire un modèle mécanique, je ne comprend pas. » (W. THOMSON : *Lectures on molecular dynamics*, p. 132.)

tration mathématique de la possibilité d'une explication mécanique, c'est l'expression analytique des conditions très générales auxquelles doit satisfaire cette explication, et rien de plus¹.

Comme l'a dit Hertz, la théorie électromagnétique de Maxwell, c'est le système des équations différentielles écrites par Maxwell. Ces équations différentielles, analogues aux équations fondamentales de la dynamique, sont compatibles avec une figuration mécanique des phénomènes électriques ; elles font prévoir et attendre une représentation de ceux-ci par des images cinétiques, et cela suffit dans l'état actuel, pour qu'elles constituent, de l'aveu de tous les physiciens, une théorie *mécaniste* de l'élasticité.

Le mécanisme semble donc pouvoir être défini en dernière analyse par la nécessité où l'expérience mettrait le savant à recourir à une systématisation fondée sur le mouvement². Et voici la raison la plus profonde qui paraît appuyer sa proposition essentielle :

Le signe d'un phénomène naturel pour le physicien et le mécanicien, le signe d'un phénomène physique, c'est la

1. « Les physiciens anglais, tels que lord Kelvin (W. Thomson), lorsqu'il a formulé sa théorie des atomes tourbillons, tels que Maxwell lorsqu'il a imaginé l'hypothèse d'un système de cellules dont le contenu est animé d'un mouvement de rotation, hypothèse qui sert de fondement à son essai d'explication mécanique de l'électro-magnétisme, ont évidemment trouvé, dans de telles explications, une satisfaction plus vive que s'ils s'étaient contentés de la représentation très générale des faits et de leurs lois par le système d'équations différentielles de la physique. Pour moi, je dois avouer que je ver aucune objection de principe contre une méthode suivie par je m'en tiens plus assuré que de tout autre ; mais je ne saurais éled'aussi grands physiciens. » (H. VON HELMHOLTZ : Préface à l'ouvrage de H. Hertz : *die Principien der mechanik*, p. XXI, cité par Duhem, *Revue générale des sciences*, 1903, p. 258 B.)

2. Peut-être vaudrait-il mieux dire alors *cinétisme*. Mais rien ne prouve que la notion de force, ou d'autres notions, ne soient requises pour l'explication du mouvement lui-même. Or, le mot *cinétisme* a été, jusqu'ici, réservé pour les théories qui rejettent toutes ces notions et n'admettent que le mouvement pur. Le *cinétisme* n'est donc qu'une espèce du genre *mécanisme*. De ce que les théories actuelles inclinent vers le cinétisme, on n'a pas le droit d'absorber en lui toutes les possibilités du mécanisme.

présence ou la possibilité d'un travail. L'énergie désigne « tout ce qui, directement ou indirectement, est propre à se transformer en travail » ; les corps pesants en mouvement dans l'espace, la chaleur, l'électricité, le ressort tendu, la dissociation ou la combinaison chimiques, la lumière, la radioactivité, le son, tout cela est apte à fournir du travail mécanique, et réciproquement à apparaître à la suite d'un travail mécanique. Le travail, voilà donc l'élément que l'expérience nous fait retrouver dans tout phénomène physico-chimique et que nous rencontrons toujours sous une forme claire, manifeste, et en même temps homogène, mesurable, comparable identiquement d'un cas à l'autre. Le travail est une notion mécanique. C'est toujours un mouvement. Voilà pourquoi le mouvement est l'élément auquel nous ramènent, presque par définition, mais en tout cas, dans la totalité de l'expérience, les phénomènes physiques.

« ... L'esprit humain, en observant les phénomènes naturels, y reconnaît, à côté de beaucoup d'éléments confus qu'il ne parvient pas à débrouiller, un élément clair, susceptible par sa précision d'être l'objet de connaissances vraiment scientifiques. C'est l'élément géométrique, tenant à la localisation des objets dans l'espace et qui permet de se les représenter, de les dessiner ou de les construire d'une manière au moins idéale. Il est constitué par les dimensions et les formes des corps ou des systèmes de corps, par ce qu'on appelle, en un mot, leur *configuration* à un moment donné. Ces formes, ces configurations, dont les parties mesurables sont des distances ou des angles, tantôt se conservent; du moins à peu près, pendant un certain temps et paraissent même se maintenir dans les mêmes régions de l'espace pour constituer ce qu'on appelle le *repos*, tantôt changent sans cesse, mais avec continuité, et leurs changements de lieu sont ce qu'on appelle le *mouvement local*, ou simplement le mouvement ¹ ».

« Jusqu'ici la science, considérée dans sa partie édifiée ou susceptible de l'être, a grandi en allant d'Aristote à

1. J. BOUSSINESQ : *Leçons synthétiques de mécanique générale*, p. 1.

Descartes et à Newton, des idées de *qualités* ou de *changements* d'état, qui ne se dessinent pas, à l'aide de *formes* ou de *mouvements* locaux qui se dessinent ou se voient¹ ».

11. — L'explication mécaniste actuelle se présente essentiellement comme une *systématisation descriptive de l'expérience*.

Si, dans cette description, les sciences physico-chimiques, au lieu de se constituer comme un ensemble spécifique, forment avec la mécanique un groupe homogène, c'est que l'expérience d'une part, et les hypothèses qui s'appuient sur cette expérience et sont imaginées comme des expériences possibles, d'autre part, tendent à nous faire adopter cette solution. L'intuition ontologique des anciens mécanistes n'y est plus pour rien. En ce sens l'antonomie de la physique est respectée, car la physique se réunit avec la mécanique en un seul et même organisme pour des exigences qui lui sont propres et viennent directement de son objet particulier. La théorie électronique, d'ailleurs, ne considère-t-elle pas, comme la physique théorique de Duhem, que le mécanisme n'est qu'un cas particulier de la physique générale ?

N'oublions pas cependant cette différence que, par suite de l'intervention de l'art humain dans la systématisation conceptuelle, les fondements de la systématisation sont des concepts généraux, des idées abstraites. L'esprit les a tirés des faits de l'expérience ; ils ne doivent servir que dans les limites et sous le contrôle de l'expérience (qui irait là contre au xx^e siècle ?) ; mais ils restent des concepts, des notions, des idées. Au contraire, dans le mécanisme, les fondements de la systématisation sont des faits, ou ont la prétention d'être des faits. Ce sont des données expérimentales, concrètes, particulières et elles ne se distinguent de tout autre phénomène physico-chimique qu'en ce qu'on les retrouve comme conditions nécessaires de tout autre phénomène physico-chimique.

Ainsi dans la théorie de Duhem, il s'agit simplement de *déduire* les formules analytiques de la mécanique, des for-

1. BOUSINESQ : *Théorie analytique de la Chaleur*, t. I. p. xv.

mules de l'énergétique, tandis que, dans la théorie électro-nique, on *rendra compte* de mouvements perceptibles à l'aide d'autres mouvements perceptibles ou qui pourront l'être. Il faut bien reconnaître que cette dernière interprétation, plus que toutes les autres, donne à la physique une valeur objective indiscutée. Car ici, encore une fois, si l'on admet ces prémisses, la question de l'objectivité ne se pose pas. Elle ne peut plus se poser. Ce serait un contre-sens ou un non-sens.

Toutes les autres écoles proclament aussi bien que le mécanisme, l'objectivité des résultats de la systématisation physico-chimique. Mais elles ne la proclament qu'après l'avoir discutée. Un problème a été posé, et la solution n'en va pas toujours avec aisance. Dans le mécanisme, rien de tel. Et ce n'est pas qu'on élude la difficulté. C'est bien que cette difficulté n'existe pas.

La généralisation, c'est ici la sensation directe d'un fait particulier dans une multitude d'autres faits particuliers, la perception d'une donnée concrète dans une multitude d'autres données concrètes, la constatation du résultat d'une expérience dans une multitude d'autres expériences.

C'est dans ce caractère réaliste de la description mécaniste qu'il faut sans doute chercher le secret de la complaisance qu'ont eue et que conservent pour elle tous les savants de laboratoire, tous les purs expérimentateurs, et aussi peut-être le secret des critiques que lui adressent ceux qui, plus exclusivement mathématiciens, sont aussi plus exclusivement des manieurs d'idées.

DEUXIÈME PARTIE

CONSÉQUENCES PHILOSOPHIQUES

LIVRE V

L'ESPRIT GÉNÉRAL DE LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE ET LA VALEUR DE LA SCIENCE PHYSIQUE.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales. — L'accord des Physiciens contemporains.

1. *Objectivité de la science physique.* — 2. Les divergences des physiciens en matières théoriques et l'arbitraire prétendu de la science. — 3. L'ensemble de la physique, y compris la physique théorique, est étroitement limité par l'expérience. — 4. Celle-ci impose des conclusions sur lesquelles l'agent de la connaissance ne peut avoir de prise. — 5. Le consentement universel des savants, dans les conditions d'expérience identiques. — 6. Le sens que l'on peut donner actuellement aux termes *objet* et *objectif*.

1. — La crise actuelle de la physique consisterait essentiellement en ceci :

Il existerait un désaccord profond entre les physiciens actuels, et une rupture complète entre l'esprit de la physique contemporaine et l'esprit de la physique du commencement du siècle. En conséquence, la physique n'aurait ni unité, ni continuité : elle serait constamment à refaire. Par une déduction logique inévitable, en suivant cette vue jusqu'au bout, la physique n'aurait rien d'objectif.

Elle se résoudrait en une théorie ou en un système de théories arbitraires, et chaque physicien pourrait avoir son système ou sa physique. L'expérience n'aurait donc que

de bien lointains rapports avec elle. En un mot, la seconde moitié du XIX^e siècle aurait assisté à la faillite du mécanisme, par la démonstration de sa stérilité, puis à la faillite de la physique, enfin à la faillite de la science expérimentale.

J'avais résolu de consulter sur ces points les physiciens en classant leurs solutions par affinités naturelles. Cette consultation est terminée. Qu'en ressort-il ? Que les propositions que je viens de reproduire ne sont pas fondées.

Il suffit, pour avoir le droit de l'affirmer, de rapprocher les conclusions des études qui précèdent. Si ces études sont des analyses exactes des idées des physiciens actuels, si tous ceux-ci se rattachent bien à l'un des systèmes qui ont été examinés, je crois qu'il n'est pas possible de soutenir une autre opinion.

En résumant ces conclusions on arrive, me semble-t-il, aux propositions suivantes :

1^o Tous les physiciens actuels, à quelque école qu'ils appartiennent, croient à l'objectivité de la physique, c'est-à-dire à la possibilité de connaître par cette science, et d'une façon de plus en plus complète les phénomènes physico-chimiques, leurs conditions d'apparition, de variation et leurs liens réciproques.

2^o Cette objectivité est essentiellement empirique. L'expérience est le critérium de la vérité, partant de l'objectivité. « Le monde ne saurait être deviné. » Les expressions : « intuition rationnelle », « principes évidents par eux-mêmes », n'ont plus aucun sens pour un savant, en dehors des exigences de la logique formelle.

3^o Cette objectivité est, en conséquence, d'ordre phénoménal et relatif. La physique nous donne une représentation fidèle de la nature telle qu'elle nous apparaît, une description systématique.

4^o Cette objectivité, qui a son garant dans l'expérience, est forcément limitée par l'expérience actuelle. Lorsqu'on s'appuyait sur des intuitions *a priori*, cette objectivité pouvait prétendre à n'avoir aucune limite ; les principes intuitifs devaient trouver leur application dans tous les phé-

nomènes physico-chimiques et suffire à les expliquer tous. On conçoit, par contre, qu'une science fondée sur l'expérience ne peut plus admettre de telles prétentions. Elle ne sait que ce que l'expérience lui a enseigné. L'avenir reste ouvert nécessairement à de nouveaux enseignements. Et comme la science physique est récente, ces enseignements seront sans doute incomparablement plus riches que ceux que nous possédons actuellement. De là le rôle et la place énormes qui doivent être laissés à l'hypothèse. De là encore cette conséquence que la systématisation ne peut être tentée que dans ses lignes très générales et qu'on a abandonné partout toute systématisation trop précise et trop détaillée. De là enfin la possibilité de divergences dans les théories physiques.

Mais l'avenir doit laisser intacts les résultats acquis par l'expérience actuelle, quel que soit le sort des hypothèses théoriques. Ces résultats, et c'est ce qui définit bien la valeur objective de la physique, sont assis solidement sur l'expérience et l'avenir les retrouvera dans tous les développements qu'il donnera aux sciences physico-chimiques.

5° Conséquence de tout ce qui précède, si la science n'est pas achevée (et loin de là qu'il en soit ainsi), elle est, et elle progresse. L'accord le plus complet existe sur ses méthodes et ses procédés de découvertes, sur ce qui forme son contenu, sinon sur la manière choisie pour l'exposer.

a) Les sciences physico-chimiques constituent donc tout ce que nous savons sur les phénomènes physico-chimiques, b) *seules* elles ont pu nous faire acquérir ces connaissances et *seules* elles peuvent les augmenter ! Toute méthode autre que la méthode qu'elles ont suivie, ou bien sera stérile, ou bien nous mènera droit à l'erreur.

6° Enfin, pour lever la restriction que contient le paragraphe 4, touchant la forme choisie pour exposer le contenu de la science, il faut ajouter que, bien que les avis diffèrent sur cette forme d'exposition, la construction des sciences physico-chimiques tend à être *une*, quelles que soient les écoles auxquelles appartiennent les physiciens.

a) On en vient à peu de choses près à un arrangement ana-

logue. Et *b*) en tout cas s'il y a des divergences, elles s'expliquent par ce fait bien naturel que la science est loin d'avoir épuisé ses recherches, ce qui serait la condition nécessaire de l'unité de la systématisation. Si donc l'hypothèse joue un rôle énorme et nécessaire dans cette tâche et, par suite, si des hypothèses différentes peuvent être émises, pourtant toutes les écoles admettent qu'on arrivera peu à peu, grâce aux polémiques mêmes qui sont engagées, à *une* systématisation, à *une* hypothèse, à l'exclusion de toute autre. Non seulement on doit y arriver, mais on y arrive. Il y a une évolution unilinéaire de la physique et à chaque étape une concordance s'établit manifestement sur les points importants, entre tous les savants. De là vient que la physique a pris un aspect particulier et bien caractéristique à chacune de ses étapes, et en particulier à l'étape qu'elle franchit actuellement.

La conclusion nécessaire de ces propositions, c'est que la *science physique, malgré son relativisme, n'est jamais à refaire*, que prendre le mot relativisme dans ce sens, c'est jouer grossièrement sur ce mot. Relativisme de la science physique ne signifie qu'une chose : caractère descriptif et humain de cette science, mais il est évident que la description dont il s'agit est, pour l'espèce humaine, une, nécessaire et universelle.

2. — La théorie physique est arbitraire, a-t-on dit. « Voyez Duhem : Il proclame que la façon dont nous construisons cette théorie est laissée à notre complète discrétion, pourvu que soit respecté le principe d'identité et de contradiction, qui d'ailleurs n'a qu'une valeur logique ; simple garantie d'harmonie dans le discours. Mach ne proclame-t-il pas à son tour que la théorie physique se laisse guider par un principe d'épargne, sorte de principe psychologique de la moindre action ? Là encore on ne satisfait qu'à une condition d'aisance pour l'esprit, à une condition logique, non à une condition de réalité. Poincaré n'avoue-t-il pas qu'il y a dans les fondements de la théorie physique une accommodation des choses aux besoins logiques de la pensée ? Seul le mécanisme reste nettement objectif, mais

toutes les écoles précédentes déclarent que cette objectivité est plus voulue que réelle, qu'elle ne résiste pas à la critique. »

Tout cela est exact, littéralement exact, mais n'est exact que littéralement. On a pris des formules extrêmement nettes, des formules de polémique, incisives, tranchantes qu'un écrivain emploie pour accentuer l'idée, marquer son attitude, attirer violemment l'attention du lecteur sur ce en quoi il se différencie, et sur ce contre quoi il combat. En les reproduisant telles quelles, on fausse l'esprit de la doctrine tout entière, ou plutôt on ne cherche pas à la pénétrer. On oublie d'appliquer cette règle du contexte, élémentaire dans la critique historique.

3. — Que veut dire Duhem ? Simplement ceci : Parce que nous parlons dans une théorie d'une masse électrique d'une quantité d'électricité, d'une tension électrique, d'un courant électrique, d'une intensité de la force électromotrice, d'un potentiel électrique, d'une quantité de chaleur, d'une température absolue, il serait naïf de croire qu'il existe dans la nature des réalités, des existences séparées, des individus, qui répondraient chacun à l'une de ces notations. Ces notations sont arbitraires ; elles répondent à des besoins de notre esprit lorsqu'il veut se représenter les résultats d'un certain nombre d'expériences.

Mais ce qui n'est pas arbitraire, ce qui n'est pas fait pour répondre à des besoins de notre esprit, ce sont les résultats de ces expériences. Il y a là une limite qui s'impose à nos constructions, et cette limite est essentiellement objective et fixe. C'est là qu'il faut que la théorie aboutisse, et à cet aboutissant elle rencontre quelque chose qui ne dépend pas de nous, mais qui dépend de ce qui est autre que nous, de ce qui nous est extérieur. Toutes les théories physico-chimiques doivent nous amener à des conséquences données dans l'expérience, et sur lesquelles nos fonctions subjectives n'ont plus de prise. Que l'expérience mette une de ses conséquences en défaut, la théorie doit être rejetée. Toutes les conséquences de la théorie sont donc nécessairement objectives.

Mais de ce que les conséquences de la théorie sont nécessairement objectives, ne s'ensuit-il rien pour la construction de la théorie elle-même ? Qui pourrait le nier ? De pareilles limites à l'arbitraire théorique et subjectif sont nécessairement de très étroites limites.

Dans l'exposé didactique de ses idées, Duhem peut bien partir de l'arbitraire, du subjectif, pour aboutir à l'expérience. Qui ne voit — et il n'y aurait pas de physique sans cela, — qu'en réalité, dans l'œuvre vivante du physicien, on part toujours de l'expérience et que l'arbitraire est strictement limité par ses données ? Claude Bernard avait déjà remarqué dans son introduction à la médecine expérimentale qu'il ne peut pas y avoir de point de départ *a priori*. Même dans les sciences mathématiques, et il cite à l'appui de son dire un témoignage d'Euler, les prémisses sont nécessairement fournies par l'observation de relations entre les choses.

Le théoricien, pour marquer l'indépendance de la théorie vis-à-vis de l'expérience, pour mettre d'une façon plus frappante le procédé constructif de l'esprit dans la partie théorique, peut bien supposer les choses renversées et montrer que partant d'un point de départ *a priori*, la théorie, quelle qu'elle soit, ne cesse d'être valable, si ses conséquences sont toutes vérifiées par l'expérience : Il veut montrer que là est la seule condition de validité de la théorie.

Mais dans la pratique scientifique, il est aisé de voir que le physicien sera guidé par l'expérience qu'il doit retrouver. Sa liberté est restreinte. Ses constructions théoriques oscilleront fatalement comme un pendule autour d'une direction moyenne. L'expérience devient le centre de gravité du système, et l'angle d'oscillation sera fort petit.

Nous voilà bien près de la façon dont les mécanistes les plus intransigeants conçoivent la physique théorique. Eux aussi, ils admettent un arbitraire, fait de notre ignorance et des hypothèses qu'elle suscite. Comme l'expérience ne nous donne pas, ou ne nous donne pas d'une façon précise, toutes les relations dont nous aurions besoin pour construire la théorie d'un phénomène, nous devons y sup-

pléer par nombre de conjectures. Ces conjectures, ces hypothèses auront pour condition-limite les données expérimentales ; autrement dit, il faut et il suffit, comme dans la conception de Duhem, que la théorie physique coïncide avec tout notre savoir expérimental, et que ses conséquences soient toujours vérifiées par l'expérience, à mesure que l'expérience est possible. Le reste est hypothétique, donc arbitraire. Aussi les hypothèses physiques oscilleront-elles, dans certaines limites, autour d'une position moyenne, d'un centre de gravité de la science, déterminé par notre savoir expérimental.

La conclusion s'impose. La théorie physique telle que la conçoit Duhem, et la théorie physique telle que la conçoivent les mécanistes, sont près d'être identiques.

Pratiquement, on arrive toujours à une théorie qui reproduit ou tend à reproduire le plus fidèlement possible l'expérience. Or, l'expérience est une limite qu'on ne peut déplacer, à moins d'erreur.

Ce n'est pas tout. Le mécanisme admet que petit à petit l'hypothèse se rectifie ; ses oscillations diminuent d'amplitude. Duhem ne dit pas autre chose quand il montre qu'une hypothèse doit nécessairement l'emporter sur toutes les autres, qu'on s'achemine vers une théorie physique ou vers une physique théorique, *une*. Là encore la concordance est complète. Spéculativement, chacun interprète à sa manière les choses ; pratiquement, tous s'accordent.

4. — Le qualificatif d'arbitraire donné si complaisamment à la théorie physique doit donc être interprété d'une façon singulièrement restreinte et limitée. Au fond, il est employé simplement pour mettre en évidence le rôle que joue l'hypothèse. Trop souvent en effet, dans le courant traditionnel d'idées qui régna pendant la première moitié du xix^e siècle, la distinction entre les parties hypothétiques et les parties déduites directement de l'expérience fut passée sous silence.

Contre cette tendance métaphysique et antiscientifique, il fallait une réaction vigoureuse. Les savants n'ont pas hésité, et les mécanistes comme les autres. Ils ont, en même temps, fait le départ de l'expérience et de l'hypothèse et

montré le rôle énorme que joue l'hypothèse dans la théorie physico-chimique.

Mais ce faisant, loin de ruiner la valeur objective des sciences physico-chimiques, ils n'avaient qu'un but : l'affirmer comme la donnée primordiale qui rationnellement permet l'existence d'une science expérimentale.

L'expérience est, par définition, une connaissance de l'objet. Dans la science physique, cette définition est mieux que partout ailleurs à sa place ; et elle est plus nette que partout ailleurs. La physique s'est établie comme science en s'opposant à la spéculation *a priori* de la scolastique. Elle s'est fondée contre l'arbitraire d'un raisonnement dialectique et vide, contre l'idée préconçue devant laquelle on veut à toute force faire plier les faits. L'expérience est ce que notre esprit ne commande pas, ce sur quoi nos désirs, notre volonté ne peuvent avoir de prise, ce qui est donné, et que nous ne faisons pas. L'expérience, c'est l'objet, en face du sujet.

Tous les physiciens actuels ont conservé cette conception que la Renaissance s'est faite de la méthode physique. Rankine, Duhem, Mach ne poursuivent qu'un but par leurs théories : retrouver l'expérience. L'école critique admet que la science est assise sur les relations présentées par l'expérience. Le mécanisme a la prétention de ne faire appel qu'à l'expérience.

Il en résulte que la physique, par sa méthode, est essentiellement objective ; l'arbitraire de la théorie ne saurait, une fois celle-ci achevée, enlever quoi que ce soit à l'objectivité de ses résultats.

5. — Qu'il y ait des conventions dans les procédés de mesure et de repérage, que nombre de théories physiques très complexes interviennent dans toute expérimentation, n'empêche que, en usant des mêmes procédés de mesure et de repérage, en faisant intervenir les mêmes théories, tous les expérimentateurs ne retrouvent identiquement les mêmes résultats.

Les mesures, et les théories en vertu desquelles on les fait, enferment nécessairement une part de convention, car

elles sont des signes et un langage. Il est trop évident qu'un degré ou qu'une calorie n'existent pas objectivement, pas plus que les signes qui les désignent dans les calculs, ou les mots qu'on emploie pour en parler. Ce qui existe objectivement, ce qui est immuable et fixe, c'est le résultat auquel on arrive si l'on convient d'user de tels signes, de tels mots, de telles notations. Voilà la limite qu'impose la nature à la liberté du physicien ; voilà ce qu'il ne saurait créer ou changer, voilà ce qui reste identique pour tous ceux qui se placeront dans des conditions identiques. On ne saurait demander davantage, on ne comprendrait même pas ce qu'on pourrait demander de plus pour l'objectivité de la physique.

La science physique, qu'on adopte les idées énergétistes ou celles des mécanistes, doit permettre à tous les physiciens d'arriver à des résultats identiques et de communiquer ces résultats à tous. Elle est objective, au même titre que notre représentation du monde extérieur, c'est-à-dire au même titre que tout ce que nous appelons une existence ou un objet.

Peu importe que dans certaines conceptions, la théorie ne soit pas un décalque de l'expérience ; comme elle fait nécessairement appel à l'hypothèse, ceci est affaire d'interprétation. Mais ce qui n'est pas affaire d'interprétation, c'est ce que pose l'expérience et que doit toujours finalement représenter toute théorie physique valable.

On n'a donc pas le droit de tirer des vues des savants contemporains, quels qu'ils soient, — à plus forte raison des savants qui les ont précédés — cette conclusion que la physique est constituée par des théories purement spéculatives.

6. — C'est qu'en effet, si l'on y réfléchit bien et en accordant à l'idéalisme, au subjectivisme, tout ce qu'il peut demander, l'objet ne consiste, au point de vue psychologique, comme au point de vue philosophique, pour s'en tenir aux données positives, qu'en un système de relations cohérent et fixe. Toute perception, et, au-dessous de la perception, toute image de rêve, si confuse et si élémentaire

qu'elle soit, puisque le subjectivisme prend parfois pour donnée réelle ce que jadis on s'accordait à reconnaître comme instable et illusoire, sont encore, sont toujours le résultat d'une relation entre des éléments encore plus ténus, plus fugaces. Lorsque les psychologues anglais soutenaient que la conscience est le sentiment d'une différence, lorsque tout psychologue affirme qu'un acte de connaissance, de discrimination est relatif au contenu contemporain de la conscience, ils n'affirment rien autre que ceci : tout état de conscience a pour matière une relation et par suite tout objet est une relation.

Les sciences physico-chimiques établissent simplement des relations entre les phénomènes. Or, les relations n'existent pas. Donc ces sciences n'ont pas de valeur objective. Pardon, est-on, ce semble, forcé de répondre, tout objet n'est qu'un système de relations. La physique comme toutes les autres sciences propose simplement ceci : Partir de ces systèmes de relations qui constituent la perception extérieure d'un homme normal. Chercher, à leur tour, leurs relations, c'est-à-dire les conditions qui règlent leurs apparitions, leurs variations, leurs disparitions. Continuer en somme, le processus fondamental par lequel se constitue un objet, par lequel se constitue le réel. Une intuition immédiate de la conscience n'est donnée que par ses relations avec ce qui la précède et ce qui la suit (si elle ne s'en distinguait pas, elle ne serait pas sentie). Faisons même abstraction de ces relations : elle n'est sentie que si elle est impliquée dans une relation avec quī la sent. Sans cela elle n'existe pas. Elle ne commence à être, qu'au moment où elle enveloppe une dualité, qu'en étant *relation*. Sans cela, elle ne serait pas seulement ineffable, elle ne serait ni pensable, ni expérimentable. Ce serait le symbole algébrique le plus abstrait, le plus conceptuel qui soit. Pourquoi, alors, cette relation, serait-elle plus réelle que les relations qu'assigne la chimie entre le poids des composants et celui du composé ? Je ne puis voir la différence, ou si j'en vois une, c'est en faveur des secondes qui sont incontestablement plus précises, plus fixes, plus universelles. En me mettant

au point de vue subjectif le plus absolu, il me semble que j'ai le droit de dire : Toutes nos connaissances, et par suite tous nos états de conscience sont du même ordre. Si les unes sont objectives, les autres le sont aussi. Si des expériences, celles du rêve, sont réelles, les autres, celles du laboratoire, le sont également ; car je ne puis voir de différence de nature entre elles. Et les différences de degré sont tout en faveur des dernières.

Je crois qu'on peut, à propos de l'objectivité de la physique, conclure d'une façon tout à fait générale sur le problème de la valeur de la connaissance scientifique. Laissons de côté le point de vue subjectif comme le point de vue objectif. Ils résultent peut-être tous deux d'une analyse partielle. Plaçons-nous dans la réalité commune. Dire qu'une chose est fixe, dire qu'elle est nécessaire, c'est dire qu'elle a telles et telles relations avec d'autres choses. La perception me donne en gros et d'une façon confuse les relations entre les choses. Les rendre plus précises, plus détaillées, plus complètes, voilà la tâche de la science. Elle augmente par là la nécessité et la fixité de ces relations, c'est-à-dire ce qui fait leur objectivité.

Par suite, quelle que soit l'école à laquelle appartient le physicien, comme il demande toujours à la théorie physique la coïncidence de ses conséquences avec l'expérience, c'est-à-dire l'identité des relations qu'elle permet de déduire avec les relations de nos représentations, toute théorie physique (et la science physique tout entière) a une valeur objective. Au fur et à mesure de ses progrès, cette objectivité augmente, dépasse, par la fixité, la précision et la nécessité des relations auxquelles elle aboutit, l'objectivité de ses résultats antérieurs, et par conséquent l'objectivité de la perception qui fut le point de départ. La perception, et déjà l'affection confuse de plaisir ou de douleur, étaient une physique inconsciente : c'était le commencement dans l'espèce humaine de la physique proprement dite. Notre perception n'est qu'un instinct spécifique qui porte les marques de la supériorité psychologique de l'espèce. Notre science l'a prolongée.

Les erreurs commises, les changements de point de vue dans la théorie, les différences d'interprétation, la nécessité de conventions, ne sont pas plus un argument contre l'objectivité de la physique que les illusions des sens contre l'objectivité de la perception extérieure. Le fait qu'il y a des erreurs, et par suite des rectifications nécessaires, paraît bien plutôt la preuve qu'il y a un objet. L'existence d'une erreur subjective prouve l'existence d'une vérité objective. Le fait que l'expérience oblige le physicien à démolir, puis à reconstruire, s'il veut que les résultats de sa théorie s'accordent avec les résultats de l'expérience, prouve que la théorie a une valeur objective et n'a de sens que par sa valeur objective.

CHAPITRE II

Signification précise de la valeur objective de la physique.

1. — Deux sens du mot objectif, sens intuitif et sens rationnel. —
2. Le sens intuitif cède peu à peu le pas au sens empirique. —
3. Mais il ne le cède pas sans résistance : le courant rationaliste. —
4. L'empirisme et sa notion de l'objectif. — 5. L'objectivité de la science physique doit être entendue nettement, d'après tous les physiciens contemporains, au sens empirique : Duhem, Poincaré. — 6. Part de l'esprit dans cet empirisme ; tous les physiciens la lui font ; mais le rôle de l'esprit n'a rien de catégorique. Tout ce qui est catégorique vient de l'expérience.

1. — La théorie physique a donc une valeur objective, mais comme tous les mots très généraux, comme toutes les expressions philosophiques malmenées par tant de discussions, le terme « objectif » est vague et cette proposition : la théorie physique a une valeur objective, n'a pas beaucoup de sens. Il faut préciser ce qu'on doit entendre par là.

Les nuances infinies que le mot objectif a pris selon les systèmes peuvent être ramenées à deux sens distincts, opposés dans une certaine mesure : un sens intuitif ou rationnel et un sens empirique.

Le sens intuitif ou rationnel est celui qu'il prend dans la philosophie du concept et dans la philosophie scolastique, dans la théorie réaliste des universaux. Il érige en réalités absolues les conséquences du raisonnement spéculatif à partir d'une donnée *a priori* de l'esprit. Il fait du sujet la mesure de l'objet.

2. — Contre ce réalisme, le nominalisme, et l'empirisme

qui lui est historiquement lié, se présentent comme des réactions très nettes. Mais ils croient, eux aussi, à l'objectivité de la connaissance ; seulement ce n'est plus le même élément qu'ils considèrent comme objectif. La conception de l'esprit, l'idée abstraite ou générale, la spéculation *a priori* sont, au contraire, essentiellement subjectives. Ce sont des points de vue de l'esprit, des symboles créés par lui, qui ne valent que par ce qu'ils recouvrent. Est objectif ce qui est donné du dehors, imposé par l'expérience, ce que nous ne faisons pas, mais ce qui est fait indépendamment de nous et dans une certaine mesure nous fait. L'empirisme ira en accentuant constamment ce dernier caractère, jusqu'à considérer l'esprit comme la création de l'expérience.

3. — Ce courant qui entraîne à donner au mot objectif un sens empirique ne s'établit pas d'un seul coup intégralement. Les anciennes habitudes de pensée subsistent, et on peut dire à ce point de vue que le cartésianisme, le leibnizianisme, le kantisme, l'idéalisme du *xix^e* siècle, font toujours à l'objectivisme intuitif sa part, mais une part beaucoup moins large que la philosophie du concept.

À dire vrai, ils renouvellent plutôt le sens intuitif et rationnel du terme objectif pour le mettre d'accord avec les exigences empiriques de la pensée moderne, et beaucoup de leurs interprètes n'accordent pas assez d'attention à cet effort nouveau qui entraîne une conception nouvelle. Ces interprètes négligent le rôle croissant, donné par le rationalisme à l'expérience ; si bien que peu à peu arrivent à se confondre méthode expérimentale et méthode rationnelle. Mais en accordant cela à la vérité historique, il n'en est pas moins manifeste que la grande tradition philosophique, rationaliste et idéaliste, a maintenu une acception intuitive de l'objectivité.

L'idée abstraite, le concept, la création de l'esprit dans un but symbolique et utilitaire, tout cela n'a plus de valeur objective. C'est entendu. Mais la connaissance ne résulte pas tout entière d'un apport extérieur. On pourrait presque dire que l'expérience a une double origine : l'in-

tuition sensible ou empirique à laquelle on réserve plus particulièrement le nom d'expérience, et l'intuition interne ou rationnelle, la lumière naturelle qui, elle aussi, nous révèle des existences objectives. L'intuition sensible n'aura de valeur qu'autant qu'elle sera garantie par l'intuition rationnelle, qu'autant qu'elle en sera pénétrée tout entière.

Nous avons donc bien là encore, puisque, en dernière analyse, il nous faut remonter à l'intuition rationnelle pour avoir quelque chose d'objectif, et que c'est elle qui apparaît comme fondamentale, une signification intuitive et non pas empirique du terme objectif. Je désignerai cette nouvelle signification intuitive par l'expression objectivité intuitive moderne, pour la distinguer de l'objectivité intuitive de la philosophie du concept. Elle s'oppose, en effet, à cette dernière, parce qu'elle nie nettement l'objectivité de l'idée, c'est-à-dire du monde intelligible que Platon retrouvait lorsqu'il proscrivait l'expérience sensible, qu'elle est nominaliste, et que conséquemment, loin de se dresser en face de l'expérience sensible pour l'affirmer, elle s'allie avec elle pour la confirmer. Elle s'oppose encore à l'objectivité intuitive de la philosophie ancienne en ce que l'intuition rationnelle est, elle aussi, une espèce d'expérience ; elle n'est pas une révélation suprasensible, mais elle nous met en face d'une réalité particulière, individuelle, vivante, avec les cartésiens et Leibniz, ou d'une relation aussi réelle que les phénomènes sensibles et qui ne s'en détachent que par une analyse ultérieure et artificielle, avec les kantien. Pour Kant, c'est dans l'expérience même que nous découvrons les formes générales de l'expérience ; ce sont donc en un sens des données de l'expérience. Pour les cartésiens, cette intuition est une espèce d'expérience plus haute, plus directe, plus immédiate que la perception sensible. La connaissance scientifique est fondée sur ces intuitions. Et peut-être n'est-ce pas historiquement très aventuré de dire que l'intuition des vérités premières est, chez tous ces philosophes, le résultat d'un effort plus ou moins conscient pour assurer d'une façon inébranlable la vérité scientifique.

L'objectivité de la science a donc pour garantie, soit une

intuition directe de l'objet, soit, lorsqu'avec Kant sont affirmées la relativité de la science et sa séparation irrémédiable de la métaphysique, des relations universelles et nécessaires posées par l'esprit et qui donnent leur forme à toutes les relations empiriques, c'est-à-dire à toutes nos connaissances. Dans la question qui nous occupe maintenant, nous pouvons faire abstraction de cette différence, qu'on retrouvera plus loin, et nous arrivons à cette conclusion : Toute la lignée des philosophes rationalistes croit à l'objectivité de la science, mais fonde cette objectivité sur une expérience interne, sur une donnée que l'on trouve dans l'analyse du sujet. Le sujet rencontre en lui, à côté des idées abstraites et générales qu'il sent subjectives, mobiles et fugaces, par suite sans substance et sans réalité, des notions qui lui résistent, qui s'imposent à lui, qu'il le veuille ou non, quoi qu'il feigne ou qu'il pense, qui sont fixes, universelles, donc nécessaires. Ces notions ont donc toute la réalité que la connaissance humaine est susceptible d'acquérir, toute l'objectivité que nous pouvons atteindre : objectivité intégrale, métaphysique, depuis Descartes jusqu'à Kant, objectivité relative à partir de Kant.

Mais il s'agit toujours, bien que l'objet ne soit plus le même, d'une objectivité fondée sur l'intuition interne.

4. — En face de cette conception, est une conception qui rompt d'une façon beaucoup plus radicale avec la spéculation et la science intuitive de la scolastique. Presque tous les savants la partagent à partir du XVIII^e siècle, et les philosophes empiriques en exposent les traits fondamentaux.

Tout ce qui vient du sujet est en quelque sorte dérivé et secondaire. C'est une copie, non un modèle. Sa garantie n'est pas dans l'esprit, mais hors de l'esprit. Dans l'analyse de certaines notions, l'habitude peut nous faire croire à un résidu fixe, résistant, stable, qui ne résulte pas de l'expérience et n'est pas une simple coïncidence de sensations ; mais il n'y a là qu'un effet de l'habitude. Qu'on analyse ce résidu, et bientôt il se résout en traces laissées par

l'expérience sensible. Avec un peu de subtilité et d'efforts, on a vite fait d'arriver à concevoir l'habitude détruite, remplacée par une habitude contradictoire (Stuart Mill). N'est-ce pas la preuve que nous pourrions fort bien penser autrement que rien, dans la pensée, n'est nécessaire ou universel ? Quelle garantie pouvons-nous avoir alors de la vérité de nos conclusions ? Quelle science peut bien nous apparaître comme possible ? Le scepticisme n'est-il pas le résultat de cet empirisme ?

Cette conclusion serait hâtive. Tout ce qui est dans notre esprit vient de l'expérience : ce qui est fixe, stable, ce qui s'impose à nous comme une habitude nécessaire, aussi bien que le reste. Il en résulte que le fixe, le stable, ce qui s'impose comme une habitude nécessaire indique que l'expérience est fixe, stable, et présente un ordre nécessaire (Spencer). Le fait même que le monde subjectif qui n'a par lui-même aucune originalité se sépare en deux domaines, le domaine de l'illusoire, du fugace, du rêve et de l'erreur, et le domaine du permanent, du réel et du vrai, prouve qu'il y a dans l'expérience des relations nécessaires et universelles. Les successions et les concomitances expérimentales se reflètent dans notre esprit. Leur analyse, voilà l'œuvre de la science. Si ce que nous appelons l'expérience, si la totalité de nos représentations avaient toujours la forme des images du rêve, toute science serait impossible. Il n'y aurait ni illusion, ni réalité ; tout serait illusoire, et tout serait réel également. Le subjectif et l'objectif se confondant, le problème de l'objectivité n'aurait jamais été soulevé. Mais par cela même que dans notre esprit, image fidèle des choses, il se dessine quelque chose de systématique, par cela même (c'est une conclusion logique, inéluctable, une fois posées les prémisses de l'empirisme), les conditions de nos représentations et leurs relations forment un système que l'expérience, méthodiquement et convenablement consultée, pourra peu à peu nous révéler. La possibilité des sciences physico-chimiques, comme la possibilité de toute science sort de là. Et le problème de l'objectivité en même temps qu'il se pose est résolu, puisque les

sciences n'existeront qu'autant qu'elles sont objectives. Trouver quelque chose d'objectif, voilà en quoi consiste ce que nous appelons savoir : trouver quelque chose d'objectif, c'est-à-dire remarquer quelque chose qui ne relève en aucun cas des arrangements que notre imagination et notre pouvoir spéculatif peuvent organiser avec les éléments que nous empruntons à l'expérience, mais qui s'impose à nous, même contre notre gré, nos désirs, nos efforts, car l'expérience le pose ainsi et non autrement.

Ainsi une deuxième signification du mot objectif s'oppose nettement, dans la critique moderne de la connaissance, à la signification intuitive. C'est la signification empirique. Objectif égale : ce qui est donné par l'expérience perceptive, et qui résiste à toute tentative pour le faire apparaître à nos sens autrement qu'il a apparu une première fois. Quelque chose du dehors se pose, et en se posant s'impose.

5. — Quelle est de ces deux significations celle qu'admettent les physiciens contemporains quand ils reconnaissent que la physique est objective ? Pour qui a suivi l'analyse de leurs différentes conceptions, la réponse se présente ici encore en même temps que la question. Tous les physiciens actuels s'accordent pour admettre l'objectivité de la physique, et tous aussi pour admettre que cette objectivité est essentiellement empirique. Ce qui fait l'objectivité de la physique, c'est la coïncidence des relations qu'elle met en évidence avec les relations présentées dans l'expérience par nos représentations.

Ainsi Duhem, qui admet que la théorie tout entière est une superstructure surajoutée par l'esprit aux résultats de l'expérience, déclare formellement que tout ce qui vient de l'esprit est arbitraire : les formes de notre pensée, les catégories, — et il n'en mentionne jamais qu'une seule, le principe d'identité et de contradiction — n'ont de rôle que dans la construction de cette superstructure théorique.

Mais la théorie construite à l'aide de ces catégories et sous la condition de leur respect nécessaire (toute théorie doit être conforme au principe d'identité et de contradiction, et aux autres principes, — s'il y en a — qui fondent la

démonstration mathématique) n'a pas de valeur objective par elle-même. C'est dire nettement que si elle peut en avoir une, ce ne seront pas les catégories de l'esprit ou l'intuition qui la lui fourniront. Tout ce qui vient de l'esprit sera donc nécessairement subjectif.

En effet, ce qui confèrera une valeur objective à la théorie, après coup, — d'un point de vue logique, s'entend, et non du point de vue de la genèse psychologique, — c'est la coïncidence de ses résultats avec les résultats de l'expérience. La valeur objective de la théorie physique est nettement d'ordre empirique.

On pourrait croire, il est vrai, que les catégories logiques se retrouvent impliquées dans l'expérience et leur confèrent une nécessité et une valeur d'ordre logique. Il n'en est nullement question. Bien au contraire, dans toute l'école qui pourrait se rattacher à Duhem, on n'admet point que les choses se passent conformément à des lois logiques. On a même fait remarquer que toutes les relations découvertes empiriquement avaient commencé par heurter de front la raison, par se trouver en contradiction avec les habitudes générales de la pensée, et avec ce qu'on en déduirait conformément aux principes logiques universellement admis. Duhem a grand soin de distinguer ce qui est conforme au principe de contradiction, ce qu'on peut affirmer au nom de ce principe et les résultats empiriques. Les conséquences qu'on peut affirmer au nom du principe de contradiction sont subjectives et arbitraires. Il ne peut être question de leur valeur objective. Seul a une valeur objective ce que donne l'expérience. Tout ce que l'on déduit conformément aux lois de l'esprit est à rejeter ou à admettre sous l'unique critère de l'expérience. Ce qu'apporte l'esprit, loin de donner une valeur objective à la théorie ruinerait toute son objectivité, si l'expérience ensuite ne venait lui restituer un caractère objectif.

De même avec Poincaré : ce qui donne un caractère conventionnel aux principes de la physique, avec toutes les réserves qui doivent être faites sur le sens de ce mot « conventionnel » dans la philosophie de ce savant, c'est la recti-

fication par l'esprit de la relation expérimentale, la substitution d'un terme posé par l'esprit à la donnée empirique. Bien que ce terme s'éloigne d'aussi près que l'on veut de la donnée empirique, il devient, dans la mesure de cet éloignement, subjectif et conventionnel. Ici encore ce qui vient du sujet altère l'objectivité de la théorie. Et ce qui fonde cette objectivité, c'est le rôle énorme que continue à jouer l'expérience. L'objectivité est donc bien de nature empirique et non intuitive et rationnelle. Par là, nous rejoignons, malgré l'opposition critique des doctrines, le terrain sur lequel s'est établi le mécanisme actuel.

L'objectivité de la théorie physique a donc sa source unique dans l'expérience. Elle est d'ordre empirique.

6. — Il ne faudrait pas considérer, d'ailleurs, cet empirisme comme aveugle et inintelligent. Il n'y aurait plus personne aujourd'hui pour soutenir que « l'idée » n'a aucun rôle dans la science et doit être proscrite. Les constatations de Claude Bernard sont décisives et classiques. Toutes les conceptions, même les conceptions mécanistes les plus intransigeantes, j'allais dire surtout les conceptions mécanistes les plus intransigeantes, proclament que l'esprit a son rôle nécessaire dans la physique théorique : car celle-ci procède nécessairement d'abord par une anticipation de l'expérience, une hypothèse. Les mécanistes, en particulier Boltzmann, quand ils critiquent l'énergétique, s'appuient non seulement sur le droit, mais encore sur la nécessité de faire des hypothèses, d'avoir des idées préconçues pour les soumettre à l'expérience, et provoquer la découverte. Le progrès de la science est directement lié à la suggestion de l'idée, à la part que l'esprit prend et ne peut pas ne pas prendre à l'expérience. Le mécanisme, dans ce qu'il enferme d'hypothétique, (dans la constitution atomique de la matière, par exemple), n'est que l'ensemble des idées nécessaires aux progrès des sciences physico-chimiques. Et Boltzmann a beau jeu pour montrer que, dans ce qu'il

1. BOLTZMANN : *Ueber die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit.* (*Naturwissenschaftliche Rundschau*, 14 octobre 1899, 517.)

appelle la « Phénoménologie mathématique » (qui correspond à peu près comme contenu à la systématisation de Duhem), et la « Phénoménologie générale »¹ (l'énergétique de Mach ou d'Ostwald), il y a un appel constant à l'hypothèse.

Mais ce qui caractérise, ce me semble, d'une façon bien remarquable tout le développement de la physique théorique dans la seconde moitié du XIX^e siècle, ce qui achève de bien marquer la signification empirique de l'objectivité de la physique, c'est que précisément l'esprit, bien qu'il ait un rôle nécessaire, n'a qu'un rôle subjectif. En aucune façon, il ne rappelle le rôle de l'intuition dans le cartésianisme, le rôle de la catégorie dans le kantisme. Il n'impose aucune forme précise, aucune particularité à l'expérience. Celle-ci est indépendante, absolument indépendante en elle-même de la pensée. Les lois de l'esprit règnent dans un domaine arbitraire. Elles gouvernent un arrangement de nos représentations qui par lui-même n'a rien d'objectif et de nécessaire. Il ne sera question de vérité ou d'erreur que lorsqu'on confèrera, soit cet arrangement tout entier, soit ses résultats avec les résultats de l'expérience. Que ce soit la théorie arbitraire de Duhem, la formule commode de Poincaré, la plus grande épargne de pensée de Mach, ou enfin l'hypothèse des mécanistes, toutes ces constructions peuvent être différentes de ce qu'elles sont et se conformer tout aussi bien aux lois de l'esprit. Ce qui les fera adopter, ce n'est nullement des considérations relatives à une nécessité rationnelle ou aprioristique. Ce sera l'expérience. Bien mieux, s'il était possible, ces constructions pourraient heurter ce que nous aurions cru être les lois nécessaires de l'esprit; elles pourraient n'être pas conformes aux exigences du sujet. Et ce ne serait pas là, de l'avis de tous les physiciens modernes, un motif pour les rejeter. Le motif qui les fera accepter ou rejeter doit être uniquement expérimental.

Ainsi les lois propres à l'esprit peuvent intéresser la logique ou les mathématiques pures; elles n'ont qu'un rapport contingent avec la physique. Elles ne fondent rien dans

le domaine physique ; seule l'expérience peut rendre une conclusion définitive. Unanimement, les physiciens contemporains proclament que l'expérience est le seul critérium de validité en ce qui concerne les sciences physico-chimiques. L'esprit a évidemment un rôle. Il va au-devant de l'expérience, et par suite des lois naturelles (pour renverser la proposition cartésienne). Mais ce rôle, il peut le jouer d'une manière ou d'une autre, pourvu qu'il le joue.

CHAPITRE III

Le Relativisme de la physique contemporaine.

1. Influence de la philosophie sur la science dans un sens positiviste. — 2. La conception cartésienne de la science physique : son dogmatisme métaphysique. — 3. Le mécanisme traditionnel hérite de cette conception, même quand il se présente comme purement expérimental. — 4. La physique contemporaine s'oppose directement à cette conception : plus d'intuition intellectuelle : l'expérience est la mesure de la vérité : Ce qui ne veut pas dire que la physique contemporaine ne soit plus rationaliste. Mais la raison n'existe qu'en fonction de l'expérience. — 5. Le relativisme de la physique contemporaine : en quel sens il faut l'entendre. — 6. Les éléments dans la théorie mécaniste actuelle : ce ne sont plus des réalités, des positions, mais ils ne sont définis que par des relations. — 7. Vue d'ensemble sur le relativisme expérimental de la physique contemporaine.

1. — Les physiciens contemporains sont tous d'accord pour admettre la valeur objective des sciences physico-chimiques et pour prendre cette expression : « valeur objective », dans un sens tout à fait empirique. Il résulte de là une conséquence nouvelle : la valeur objective des sciences physico-chimiques est d'ordre phénoménal. Sur ce point, l'influence de Condillac, de Hume, et surtout l'influence de Kant et du positivisme ont complètement pénétré l'esprit scientifique de la seconde moitié du XIX^e siècle.

C'est peut-être un des points où l'on peut constater le mieux l'action directe des réflexions générales qui constituent la philosophie sur les sciences particulières. Cette action est, logiquement, indiscutable, puisqu'un système

de philosophie ne fait qu'analyser d'abord et concentrer ou synthétiser ensuite en des formules très générales les besoins intellectuels, disons mieux, les exigences intellectuelles que créent le mouvement et le nécessaire développement des idées. Cette action, dans des cas comme celui-ci, est indiscutable en fait. On ne peut pas dire que la philosophie ait suivi la science. On ne peut pas dire que la philosophie ait transcrit bon gré, mal gré ce que la science lui dictait, car le relativisme philosophique, le positivisme philosophique, ont précédé historiquement d'un demi-siècle, et plus, le relativisme et le positivisme scientifiques.

Certes, c'est par une réflexion sur la science et ses résultats, c'est surtout par une réflexion sur la science de Newton, plus positif ou moins réaliste que les savants ne l'avaient jamais été et ne l'étaient de son temps, que Berkeley, Hume, Condillac critiquèrent le résidu réaliste de la science de la Renaissance. C'est encore l'influence directe de Newton qui se joignit à celle de Hume pour éveiller Kant de son sommeil dogmatique. Mais si les philosophes trouvèrent dans l'analyse de la science et de ses résultats, les fondements d'une théorie relativiste et positiviste, ils ne trouvèrent nullement dans les écrits des savants l'expression ou même l'indication de cette théorie. Il fallait *interpréter* par une réflexion méthodique sur les sciences de l'époque, la nature du raisonnement scientifique et la valeur de ses résultats. Cette interprétation fut tout entière philosophique, et par la qualité de ceux qui s'y adonnèrent, et par leur méthode dialectique et réflexive. En construisant la théorie philosophique de la science, on a été amené à en circonscrire nettement le domaine et la valeur, alors que la plupart des savants étaient encore naïvement dogmatiques et devaient le rester assez longtemps.

Ce dogmatisme naïf, ils le devaient encore aux philosophes et à l'influence cartésienne; si bien que toute la question de la valeur de la science est une illustration des influences nécessaires, constantes et considérables par leur importance et leurs effets qu'exercent mutuellement, l'une sur l'autre, la science et la philosophie. Mieux encore, c'est

une illustration de l'influence nécessaire, constante et considérable qu'exerce directement l'esprit philosophique général sur l'esprit scientifique. Si l'on peut dire que la grande tradition philosophique s'est toujours inspirée, et scrupuleusement, de la science du temps, et que les plus grands philosophes ont été des savants, il est vrai d'ajouter que par un choc en retour, la philosophie a contribué à préciser l'esprit général de la science, surtout de la science physique. Elle en a donné une interprétation, implicitement contenue dans les résultats acquis par les purs savants, mais qui, chez aucun d'entre eux, ne se dégagait et ne se formulait nettement. Elle a analysé l'atmosphère dans laquelle vivent les savants et dont en grande partie ils vivent, sans s'en rendre bien compte, un peu comme les hommes vivent de l'air. Par là, les études générales de la science et la critique scientifique qui, d'après Comte, constituent proprement la philosophie et qui l'ont toujours dans la plus large mesure constituée chez les grands philosophes, ont rendu et rendent un service aussi incontestable que nécessaire aux sciences proprement dites.

2. — Jusqu'au milieu du ^{xix}^e siècle, à quelques très rares exceptions près, et ces très rares exceptions ne se sont jamais présentées d'une façon nette et systématique, la conception cartésienne de la valeur de la science physique régna sans conteste. Elle peut se résumer en deux propositions très simples : si l'on considère les choses en surface, au point de vue de l'extension, la science physique n'a d'autres limites que les limites de la nature. Au point de vue de la compréhension, si l'on considère les choses en profondeur, la science physique atteint la substance elle-même. Une fois la science achevée, le savant serait identique au créateur, virtuellement. Il n'aurait pas le pouvoir de créer ; mais il connaîtrait le comment et le pourquoi de la création jusqu'en ses derniers détails. Il aurait le même savoir, sinon le même pouvoir. *Dum Deus calculat, fit mundus* ; et ce calcul divin, c'est celui dont Leibniz formule les lois. Pour Newton, temps et espace sont des attributs de la divinité ; et Newton pense avoir établi les

principes absolus de la science du temps et de l'espace. Remontons plus haut, aux cartésiens proprement dits. Il suffit de nommer Spinoza et de remarquer que si Descartes a dit que Dieu conservait le monde par le même acte et de même façon qu'il l'a créé, on peut dire inversement qu'il l'a créé de la même façon et par le même acte qu'il le conserve. Or, pour Descartes, la science assigne avec exactitude toutes les lois par lesquelles se conserve l'univers.

Les philosophes distinguent, il est vrai, l'essence et l'existence, des lois d'essence et des lois d'existence. Mais est-il besoin de faire remarquer que, pour eux, au contraire d'Aristote et d'une philosophie de la qualité et de l'ineffabilité de l'individu, l'existence n'est qu'un cas particulier, qu'une limitation de l'essence. Même pour Leibniz, car l'être est machine dans ses moindres parties.

Il résulte de là que la science peut dépasser le réel, et non le réel dépasser la science. Car la science est capable d'atteindre l'essence. C'est son rôle et sa définition. La science a devant elle tout le champ des possibles. S'il y a de la contingence dans le monde, c'est que les conséquences des principes de la science n'ont pas été toutes réalisées. Cette contingence ne s'oppose donc pas à ce que le monde soit tout entier pénétrable par notre science. Elle s'oppose peut-être à ce qu'*a priori*, nous prenions pour réalisées toutes les conséquences des principes (et encore pour Spinoza, ceci serait sujet à discussion). Mais elle implique fatalement que *tout* réel, et que tout *le* réel se déduisent des essences dont la science est la claire et distincte intellection.

D'ailleurs si nous quittons le champ de la philosophie pour celui de la science, la distinction entre l'essence et l'existence ne se pose même plus. Il n'y a qu'à lire les parties scientifiques de l'œuvre de Descartes, les réflexions d'Euler ou de Huyghens, et ensuite les travaux de tous les mécaniciens et physiciens du XVIII^e siècle et de la première moitié du XIX^e pour s'en rendre compte, en particulier les travaux de Lagrange, de Laplace, de Poisson, etc.

Partisans du plein et du continu, comme partisans du

vide et des atomes, qu'on adopte l'hypothèse des tourbillons dans un fluide primitivement homogène, ou les chocs de petites masses dans le vide, dans tous les cas, le mécanicien ou le physicien croit par son hypothèse s'élever à des principes qui sont les conditions nécessaires et suffisantes de l'univers physique. Les limites de la physique sont les limites de la nature.

Il est aisé de voir la liaison intime de cette solution dogmatique de la valeur de la science physique avec le dogmatisme des théories métaphysiques de la connaissance en général. Sur quoi repose cette conception de l'adéquation de la science à la réalité, sinon sur la conception de l'idée adéquate et de l'intuition intellectuelle ?

3. — Les savants ne s'en doutent guère : tous ils croient être observateurs et expérimentateurs scrupuleux. Le mécaniste traditionnel de la première moitié du xix^e siècle, les disciples qu'il peut encore avoir aujourd'hui auraient énergiquement protesté si on les avait traités de métaphysiciens, et si on leur avait parlé d'intellect intuitif. Ils croient être les fidèles interprètes de l'expérience ; ils ne croient être que cela. Et pourtant... Il faudra tout l'effort de la critique du xviii^e siècle, de Kant et de Comte pour montrer que l'empirisme conduit nécessairement au relativisme.

Lorsqu'ils formulaient leurs hypothèses, les physiciens traditionnellement mécanistes parlaient de l'expérience, ils s'imaginaient ne jamais la dépasser. Faisaient-ils rien autre que remonter des conséquences aux principes, qu'analyser la réalité expérimentalement donnée ? Arrivant ainsi aux tourbillons ou aux atomes, aux principes de Galilée ou de Newton, aux forces centrales, pourquoi auraient-ils cru qu'ils sortaient du domaine de l'expérience ? Une fois là, il leur semblait tenir les fils mêmes qui faisaient naître, mouvoir et disparaître les phénomènes. Comme ils étaient partis de l'intuition empirique, ils croyaient n'être pas sortis de son domaine. Et leur certitude, leur dogmatisme leur semblaient assis sur l'expérience. En réalité, l'intuition empirique s'était tout simplement changée en intuition intellectuelle. C'est dans leur esprit, à la lumière de la

raison cartésienne, qu'ils voyaient ces prétendus résultats derniers de la méthode expérimentale, Le mécanisme rationnel et l'enchaînement déductif des idées avaient, sans qu'ils s'en doutent, pris la place des liaisons expérimentales et du déterminisme des choses. Ils étaient devenus cartésiens sans le savoir, tout en voulant rester empiriques, les représentations ayant progressivement fait place aux concepts purs. Au fond la seule garantie des principes premiers qui servaient de fondement à la physique, était une intuition rationnelle. La croyance en la simplicité et en la symétrie des phénomènes naturels, simplicité et symétrie prises en valeur absolue, résumait en gros cette intuition. Les exigences de clarté et de distinction qui appartiennent à l'esprit s'objectivaient d'elles-mêmes, et la réalité était conçue sans qu'on s'en rendit compte, comme la cristallisation des conceptions de l'entendement. De là, l'accord profond entre le mécanisme et le rationalisme au ^{xvii}^e siècle, au ^{xviii}^e et pendant toute la première moitié du ^{xix}^e siècle. Cournot, bien qu'il ait subi l'influence de Kant et de la critique philosophique du ^{xviii}^e siècle, bien qu'il ait senti très profondément la complexité de la réalité, représente encore cette manière de voir qui fond en quelque sorte l'intuition rationnelle et l'intuition expérimentale en un même tout indivisible. « L'ordre rationnel tient aux choses considérées en elles-mêmes... Les idées de la raison et l'essence des choses pourraient résider dans une intelligence qui n'aurait pas la même constitution psychologique (que la nôtre). »

Au fond, il restait dans la pratique scientifique beaucoup de cette tendance qui engendra la philosophie du concept, puis, bien qu'en réaction très forte contre celle-ci, le dogmatisme cartésien. L'idée, comme la représentation empirique, est une perception de l'objet. L'intelligibilité est une expérience en son genre. Entre l'expérience sensible et l'expérience intellectuelle, il y a continuité, identité.

4. — C'est à cette conception que l'esprit actuel de la physique semble avoir renoncé à jamais.

Non point qu'il rompe en visière, comme on l'a dit trop

souvent, avec le rationalisme. La physique tout entière, même dans la conception énergétique, — celle qu'on pourrait peut-être tirer le plus facilement dans un sens irrationaliste, — admet que la théorie physique doit être avant tout fidèle aux principes formels de la pensée et surtout au principe de contradiction. On peut toujours rendre compte de l'expérience d'une façon rationnelle, tel est le postulat de la théorie de la connaissance de cette physique. Pour elle, et à plus forte raison pour tous les autres, l'expérience physique reste avant tout intelligible. La science continue à vouloir satisfaire la raison. Seulement, la raison a perdu son sens réaliste et objectif. La raison n'est plus, comme le définissait encore Cournot, la mesure des choses, l'intuition de la réalité. Elle n'est plus indépendante de la constitution psychologique. Rien n'autorise plus à lui conférer une valeur absolue.

La raison, c'est l'instrument de connaissance que l'évolution a vraisemblablement fait apparaître, en tout cas qu'elle a forgé et perfectionné : l'évolution, c'est-à-dire la sélection et l'adaptation, les besoins de l'action, de la compréhension, de la communicabilité. C'est pour la synthèse cohérente avec Duhem, c'est pour l'épargne de la pensée avec l'énergétique, c'est pour la commodité avec Poincaré, c'est pour l'adéquation à l'expérience avec les mécanistes modernes, que les principes rationnels s'imposent.

Et cette conception est directement héritée de la critique philosophique de la connaissance, des attaques de Hume et des empiristes, contre l'intuition intellectuelle. Cette critique a modifié profondément l'esprit de la physique contemporaine.

5. — La physique contemporaine ne croit plus pouvoir construire un système coextensif à l'univers physique. Elle ne croit pas pouvoir atteindre la réalité, non seulement pour des raisons psychologiques ou métaphysiques qui ne sont ni de son ressort, ni de notre sujet, mais sous l'influence de ces raisons peut-être, pour des raisons proprement physiques et expérimentales qui, seules, nous intéressent ici.

La physique moderne ne croit plus pouvoir dire un jour :

Voici le système de l'univers physique, parce que, ne reconnaissant d'autre inspiratrice que l'expérience, elle ne peut pas savoir si toutes les actions physiques peuvent être données dans notre expérience. Des actions inconnues et directement inconnaissables à nos sens sont révélées par les conséquences indirectes de certaines expériences. La liste de ces actions doit nécessairement toujours rester ouverte dans un système empirique. On ne pourrait la clore que si précisément on accordait à l'intellect humain une puissance propre capable d'atteindre les principes premiers, tous les principes premiers et leurs conséquences : ces principes portant en eux-mêmes la marque qu'ils sont bien premiers, et qu'au delà, la recherche ne peut plus se poursuivre sans absurdité : *Verum index sui*. Notre systématisation physique restera donc toujours une systématisation incomplète, un cycle ouvert et non un cycle fermé. Alors que pour le cartésien, notre monde réel n'était qu'un cas particulier du monde construit par la science, pour le physicien moderne, nos théories n'embrassent jamais que des cas particuliers du monde réel. La réalité les déborde de toutes parts. Et les théories physiques vont se modifiant, se complétant, s'unifiant toujours, serrant à mesure de plus près le réel, sans jamais espérer affirmer une fois pour toutes qu'elles le tiennent tout entier¹.

Mais si nous ne pouvons pas atteindre les principes premiers, si le mécanisme lui-même aujourd'hui considère les principes comme des principes relatifs, sujets à revision, à compléments, à limitation ou à restriction comme à extension et à généralisations nouvelles, il vient immédiatement que nous ne pouvons pas atteindre les éléments ultimes de la réalité. Ce fait que la théorie physique sera toujours relative, implique sur le terrain de l'expérience qu'elle ne pourra jamais donner un résultat de l'expérience comme le terme de la recherche. L'unité simple et absolue dont l'univers physique se compose par simple addition,

1. Voir en particulier Jean Perrin : Préface des « Principes de Chimie physique », et la « Discontinuité de la matière ». (*Revue du Mois*, de mars 1906.)

l'ancien atome ou le fluide homogène, matrice universelle de toute existence matérielle, autant d'instruments de la connaissance qui ne peuvent plus figurer que dans un musée d'antiquités historiques. L'atome indécomposable, à supposer que l'expérience nous révèle un jour directement une structure granuleuse de la matière, ou plutôt de certaines existences physiques, ne sera indécomposable et ultime, ne sera vraiment élémentaire que pour nos moyens actuels d'expérimentation. De même l'homogénéité d'un milieu universel qui créerait par ses tourbillons les particules apparentes de la matière. Et de fait, avant même d'avoir une révélation directe de la structure granuleuse de la matière, les physiciens, les chimistes et surtout les physico-chimistes modernes admettent que l'unité de granulation n'est que relative. Et déjà sous les nécessités des expériences et des théories relatives à l'électricité, l'ancien atome nous apparaît à son tour composé comme la molécule, et composé d'une façon bien plus complexe. C'est un monde. Notre système solaire est simple quand on le compare à lui. D'ailleurs, dans les conditions les plus récentes, la masse (naguère essence de notre représentation de la matière), semble devenir fonction d'autres représentations plus fondamentales : en dernière analyse, probablement du mouvement, dans une théorie purement cinétique.

Ici, il y a une équivoque à prévenir ; si les écoles qui se séparent du mécanisme affirment avec toute la netteté que l'on peut souhaiter que la physique se borne à assigner des relations entre les données élémentaires de l'expérience, le mécanisme semble reposer en dernière analyse sur la considération d'éléments réels. N'est-ce pas le contraire même des conclusions qui précèdent ? Lorsqu'on songe que le mécanisme comprend la presque totalité des physiciens, à ce point que Boltzmann peut traiter toutes les autres écoles de sécessionnistes, il est impossible de passer outre, sans avoir élucidé cette question.

6. — Pour lever l'objection, il suffit que le mot élément ait un sens tout à fait nouveau, et tout à fait relativiste.

L'élément, donnée de l'expérience ou supposé donnée

de l'expérience, s'il s'agit d'un élément dont l'existence n'est encore qu'hypothétique, est identique à toutes les autres données de l'expérience. Il est un phénomène élémentaire, méthodologiquement analogue à tous les autres phénomènes, plus simple qu'eux, voilà tout. Il est donc une relation. C'est ce qu'a particulièrement mis en lumière Hannequin¹, à propos de l'atome. C'est ce que proclament toutes les conceptions physiques actuelles de l'atome, comme nous l'avons esquissé tout à l'heure. L'atome est relatif : c'est la représentation, la figuration d'une relation expérimentale. Il est facile de voir que l'on concevrait de même aujourd'hui la force, en particulier les forces centrales, dont le rôle a été si considérable dans la physique newtonienne, que l'on conçoit ainsi les tourbillons cartésiens repris par Helmholtz et lord Kelvin.

Si donc le mécanisme conserve des éléments, le mouvement, par exemple, — et ce terme est plus propre qu'aucun autre à éclairer d'une façon concrète le sens de ce terme « élément », — il les définit par des relations ; l'élément n'a d'autre signification que celle que lui confèrent ces relations. Il n'a pas d'autre objectivité. Nous sommes donc partout, avec la physique actuelle, dans le domaine du relatif. La physique ignore la matière au sens métaphysique du mot, et ce que le mécanisme entend par matière, ce n'est pas la substance réelle et ultime, c'est la synthèse des relations les plus générales offertes par l'expérience, c'est une donnée de l'expérience, donc un ensemble de relations.

Poincaré, dans son livre : *La valeur de la science*, caractérise la période que vient de traverser la physique, et dans laquelle, d'après lui, nous sommes d'ailleurs encore, par cette dénomination : La physique des principes. Des principes, c'est-à-dire nécessairement des relations, car un principe ne peut être autre chose. La physique repose donc bien tout entière sur des relations. Et si ce savant entrevoit une autre période qui commence, et dont la théorie cinétique

1. *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine*. (Paris, F. Alcan.)

des gaz serait comme l'avant-coureur, ce n'est certes pas un retour au mécanisme réaliste qu'il marquera, mais bien un progrès vers l'empirisme relativiste, puisque ce serait le triomphe du mécanisme actuel, tout imprégné d'empirisme et de relativisme.

La physique actuelle peut donc se définir un phénoménisme ou un positivisme complet, dans le sens que Stuart Mill ou Comte ont donné à ces mots. Elle n'aurait pas pu se définir ainsi, à ne consulter que les travaux et les idées des physiciens, au moment où ces philosophes définissaient le phénoménisme et le positivisme. Sur ce point, la philosophie a prévu et prévenu le mouvement scientifique d'une façon très nette.

7. — Pour la physique actuelle, l'univers physique se réduit en dernière analyse à des sensations, plus exactement, car ce terme sensation est assez vague aux représentations de la perception extérieure. Les relations qui définissent ces représentations, voilà son objet. Quant aux propriétés constituant qualitativement chacune d'elles, quant à ce que seraient, pour employer la terminologie psychologique, les sensations elles-mêmes qui constituent par leurs synthèses et leurs relations ces perceptions, la physique actuelle n'en a cure.

Il faut bien remarquer, en effet, que le positivisme et le phénoménisme du physicien a un sens plus complet, plus précis, comme on devait l'attendre d'une conception scientifique que le positivisme et le phénoménisme philosophiques. Si le philosophe a précédé le savant, c'est par une anticipation très générale et très vague. Le savant a donné un sens plus concret et plus exact à l'assertion du philosophe. Il l'a complétée et mise au point. Le positivisme philosophique se borne, en effet, à prétendre que nous ne pouvons connaître l'absolu, parce que nous sommes enfermés dans le domaine de nos états de conscience, de nos sensations, et que celles-ci dépendent de la constitution de notre esprit, autant, sinon plus, que de la constitution des choses, à supposer qu'il y ait des choses indépendamment de l'esprit. Il ajoute encore, comme déduction nécessaire,

que tout ce que nous connaissons n'est pas un objet, mais une relation d'un sujet à un objet.

La physique contemporaine reprend cette double proposition : impossibilité d'une connaissance totale et limitation de notre savoir à des relations. Mais il faut les entendre en un sens bien plus positif et bien plus expérimental que dans leur acception philosophique. Ce que la physique actuelle prétend, c'est que ce que nous considérons comme unités représentatives élémentaires, ne peut être défini que par des relations. Le mot absolu, quand on l'emploie, comme dans les expressions : température absolue, mouvement absolu, temps absolu, etc., ne désigne, si l'on analyse l'expression, qu'une relation invariable, inconditionnelle et nécessaire, mais toujours une relation¹. Autrement dit, toute expérience établit une relation et ne peut établir que cela, *car toute expérience est une mesure*.

Il est impossible de ne pas remarquer en passant combien cette attitude de la physique s'accorde avec les conclusions les plus récentes de la psychologie de la connaissance : Là aussi, une sensation n'est ce qu'elle nous apparaît, ce que nous connaissons d'elle, que par des relations multiples avec les états antécédents, concomitants et conséquents. Elle ne peut être définie à son tour qu'en fonction de ces relations.

En résumé, les éléments de toute théorie physique, quelle que soit l'école considérée, sont des relations. Et dans la théorie mécaniste, la représentation malléable et figurative n'est que la concrétisation des relations les plus générales, des principes, à l'aide de données perceptives.

Une expérience sans cesse revisable, sans cesse progressive, toute la physique, fonction de l'expérience, à chaque instant donc, *relative* à cette expérience : telle est la physionomie de la physique contemporaine.

1. Voir à ce sujet la note au sujet du mouvement absolu et des idées de Painlevé, p. 394.

CHAPITRE IV

Rôle et place de l'hypothèse.

1. Paradoxe : la physique ne veut être que le décalque de l'expérience, et jamais l'hypothèse n'y a eu un rôle plus étendu. —
2. C'est que l'hypothèse et la liberté de l'hypothèse sont un moment essentiel de la méthode expérimentale, et caractérisent l'attitude positive vis-à-vis de l'attitude dogmatique préscientifique. —
3. Le double rôle de l'hypothèse dans la physique contemporaine. Elle est non seulement un instrument de découverte, mais encore le moyen auquel on est forcé de s'adresser en l'état actuel des choses, pour établir les fondements des théories physiques. —
4. L'évolution de la physique théorique : jadis on s'accordait sur les généralités ; on discutait sur les détails. L'expérimentalisme conséquent de la physique contemporaine au contraire s'accorde sur les détails, laisse en discussion les généralités. —
5. Il y a donc dans la science physique un résidu expérimental fixe, inaltérable, qui s'accroît sans cesse.

1. — Si tout ce qui précède est exact, on peut dire que la physique a évolué depuis la Renaissance en prenant constamment un sens plus expérimental. Il paraît aujourd'hui qu'elle a atteint le terme de cette évolution. Elle est devenue dans le sens le plus plein et le plus complet du mot une science positive.

Les constructions ambitieuses présentées comme dominatrices de l'expérience, tout ce qui peut rappeler l'*a priori* ou une nécessité autre que les coïncidences empiriques, ont disparu. Rien n'étonnerait plus un physicien, pourvu que l'expérience le lui présentât, tant il est habitué à ne

rien affirmer que d'après l'expérience, et tant il est prêt à accepter d'elle des indications qu'il n'aurait même pas soupçonnées, ou contre lesquelles il se serait élevé de toutes ses forces. Aussi les hypothèses restreintes, les modèles mécaniques et transitoires se multiplient-ils aux dépens de vastes systématisations trop prématurées.

Les sciences physico-chimiques nous présentent actuellement une spécialisation qui, à certains savants, paraît même excessive et dangereuse ¹.

Chacun ne cultive qu'une petite partie du domaine scientifique et aventure ses hypothèses et ses constructions théoriques sans se soucier beaucoup de l'ensemble. Il arrive, on l'a vu, que les constructions théoriques, les hypothèses peuvent aboutir à des conséquences contradictoires. Les philosophes s'en affectent et souvent en font une objection à l'objectivité et à la valeur de savoir de la physique. Les physiciens s'en soucient fort peu. Ils comptent sur les expériences ultérieures, soit pour trancher le débat en rejetant l'une des contradictoires, soit pour révéler, en provoquant une théorie plus générale, que la contradiction n'était qu'apparente.

Cette confiance en l'expérience, d'une part, et, d'autre part, la relativité et les limites étroites de notre expérience actuelle, ont entraîné cette conséquence importante et en apparence paradoxale que l'hypothèse joue un rôle sans cesse croissant dans la physique. Jamais on n'a suivi d'une façon plus serrée les faits et jamais on n'a laissé un champ plus large aux anticipations sur l'expérience. C'est qu'on expérimente toujours pour vérifier une hypothèse, et que la conjecture consciente est un moment essentiel de la méthode expérimentale.

2. — Tant qu'on restait fidèle à la méthode d'intuition intellectuelle, les constructions théoriques, pour leurs auteurs, et souvent pour l'époque, si l'on prend les constructions qui rallièrent la presque totalité des physiciens, n'étaient pas des hypothèses. Certaines parties pouvaient

1. A. Houllevigne, par exemple, dans un article de la *Revue de Paris* du 1^{er} juillet 1905 : « Les frontières des Sciences ».

être considérées comme hypothétiques, mais les grandes lignes et les fondements semblaient définitifs. L'histoire du mécanisme traditionnel est l'illustration même de cette observation. Chaque époque a été marquée par une forme dominante de la théorie mécanique, et cette forme a toujours passé pour avoir une valeur absolue. Si Newton dit « Hypotheses non fingo », il songe à l'hypothèse cartésienne et il ne se doute pas qu'il jette les bases d'une autre hypothèse, celle des forces centrales. Pour son dogmatisme, cette hypothèse est l'expression même de la réalité ; elle n'est plus une hypothèse. Il en sera de même ensuite pour ceux qui trouveront que la notion de force est obscure ; ils n'ont pas de représentation perceptive de la force ; elle est par suite hypothétique. Le mouvement, le choc des masses matérielles leur paraissent, au contraire, des notions claires et des données empiriques. Et c'est toujours pour ne pas faire d'hypothèses qu'ils rejettent la notion de force et adopteront l'atomisme cinétique. Il est donc bien vrai de dire que dans cette physique où tout, pour nos habitudes d'esprit actuel est hypothèse, la place que croyaient laisser à l'hypothèse d'une façon consciente et voulue ses créateurs et ses disciples, était extrêmement petite. L'hypothèse était pour eux un accessoire contingent et très secondaire de la méthode.

Ceci était, si l'on veut bien y faire attention, une conséquence logique de ce mélange intime d'intuition intellectuelle et d'intuition empirique, qui semble caractéristique de la méthode de la physique antérieure au milieu du xix^e siècle. C'est parce que les physiciens avaient une confiance indéfectible en toute idée simple, claire, distincte, parce que *l'évidence* rationnelle était pour eux le critère inconscient de la vérité et de la réalité, qu'ils ne pouvaient imaginer de limitation à un système dès qu'il était fondé sur des idées simples, claires et distinctes. Certains qu'ils étaient des fondements, l'hypothèse n'avait plus guère de place dans le développement de la science. Elle n'était qu'un moment préparatoire dans l'imagination du savant à propos d'une recherche de détail.

3. — De telles prétentions devenaient inconciliables avec un expérimentalisme conscient et bien défini. L'expérience doit laisser nécessairement le champ ouvert à de nouvelles recherches. Par suite, le domaine de l'hypothèse est pratiquement sans limites. Si l'on ajoute que vraisemblablement on ne peut pas considérer les résultats acquis jusqu'ici comme très considérables, en face de ceux qui restent à acquérir, on voit tout de suite le rôle et la place de l'hypothèse dans la physique moderne. Elle en est un facteur intégrant et essentiel à un double titre : la science ne progresse qu'en formulant des hypothèses et en provoquant les recherches nécessaires à leur vérification d'une part ; et d'autre part, l'état actuel de la science exige que la plupart de ses propositions soient encore des hypothèses, surtout ses propositions générales.

Ce dernier point vaut qu'on y insiste, car c'est encore un point d'opposition directe entre l'ancien et le nouvel esprit de la physique.

La physique scolastique avait la prétention d'atteindre directement les propositions générales dont se déduisait le système complet de la nature. Contre cette prétention s'éleva la physique de la Renaissance ; elle conservait toutefois assez de confiance en nos lumières naturelles, pour affirmer que nous pouvions atteindre la nature simple. Ce n'est plus la propriété essentielle qui enveloppe toutes les propriétés particulières ; c'est le fait qui se retrouve dans tous les autres faits, et qui en se composant avec lui-même, les reproduit. Ce fait fondamental, l'esprit l'aperçoit d'abord, car il est plus simple qu'aucun autre et, une fois qu'il est aperçu, le problème physique se réduit à ceci : trouver comment les autres faits dérivent du fait fondamental : reconstruire les autres faits avec celui-ci. Il n'y a plus qu'à appliquer les règles générales de la démonstration mathématique par lesquelles on construit avec les éléments déjà connus la solution de questions non encore résolues. Le mécanisme traditionnel, par cela même qu'il s'appuie sur *l'évidence* de la relation simple, clef de voûte de la théorie physique, ne met pas en

doute et ne peut plus mettre en doute les fondements de ses théories.

La physique actuelle ne retient rien de cela : elle considère que nos premières découvertes portent, en effet, sur des faits extrêmement simples ; c'est leur simplicité qui a permis d'en formuler les lois. Elle considère encore que ces lois ont un rôle très important en physique, car c'est par leurs généralisations et leurs adaptations progressives qu'on a défriché des portions très vastes du champ de la physique. Mais ces généralisations et ces adaptations progressives ont été au moins suggérées, sinon dictées tout entières par l'expérience. Mais les expériences passées et à venir sont l'unique garantie de validité de ces généralisations et de ces adaptations. Il en résulte qu'elles ne sont plus considérées comme définitives, immuables ; elles sont susceptibles d'évolution, comme des *hypotheses* qui, pour fondamentales qu'elles soient, vont sans cesse se précisant, se complétant, s'améliorant.

Elles restent donc constamment sujettes à revision et à limitation. On ne peut pas dire que ces découvertes ne sont pas, par la simplicité même qui a causé leur antériorité sur d'autres, dans une situation privilégiée. Elles constituent un domaine particulièrement stable. Mais personne n'accepte plus aujourd'hui que ce domaine soit toute la physique. On ne voit, au contraire, en lui qu'un ensemble de conditions nécessaires, que rien n'autorise à déclarer suffisantes. Cela est évident pour Duhem : les faits fondamentaux du mécanisme classique sont les bases d'une théorie partielle de la physique, de la théorie des phénomènes les plus simples ou plutôt les plus simplifiés. Cela est encore évident pour Mach qui ne veut que systématiser de la façon la plus simple possible l'expérience et qui se déclare toujours prêt à admettre des principes nouveaux pour des faits nouveaux. Cela est encore évident pour Poincaré qui considère que l'application des principes généraux peut toujours être limitée par des expériences nouvelles, où ces principes sont insuffisants et qui en appellent d'autres.

Mais cela est encore vrai pour le mécanisme contempo-

rain. Ce dernier admet bien que les relations simples dont le mécanisme ancien faisait les conditions nécessaires et suffisantes de l'explication naturelle, doivent subsister dans cette explication. Mais elles en constituent seulement, soit une partie et même une partie dérivée, soit les lignes très générales et, par suite, très hypothétiques, très incomplètes et très vagues. Le mécanisme *suppose* que la façon dont elles ont été expérimentalement acquises est un garant de leur stabilité. Mais l'empirisme qu'il professe lui interdit de voir en cela autre chose que la *conjecture* la mieux adaptée à l'ensemble *actuel* de *l'expérience*, et dans cette conjecture, autre chose qu'un commencement : on a bien commencé, mais il est plus important encore de bien continuer. Et la physionomie de la physique se transformera si l'on continue.

En d'autres termes, les éléments que l'ancienne physique, représentée par le mécanisme traditionnel, considérait comme les mieux assurés, la physique nouvelle les considère comme hypothétiques, précisément à cause du rôle fondamental et général qu'on leur fait jouer, et le mécanisme, aussi bien que les autres écoles, quoiqu'il ait une confiance beaucoup plus grande en ces hypothèses.

Les fondements, les principes, les généralités de la physique, et ceci est conséquent avec l'empirisme régnant, sont moins assurés que les détails et les lois particulières.

4. — Toutes les conceptions actuelles de la physique insistent d'ailleurs sur un fait inconnu, ou à peine aperçu de la physique classique : l'évolution de la physique théorique. Or, une évolution de la physique théorique n'est compréhensible que si les fondements de la théorie ne sont pas arrêtés au moins dans leur détail précis et d'une façon inébranlable. Il ne peut y avoir évolution dans une théorie que s'il y a hypothèse.

On voit maintenant pourquoi les théories de la physique actuelle, dès qu'elles s'éloignent des phénomènes particuliers, sont extrêmement souples et plastiques, pourquoi elles effleurent plutôt les phénomènes superficiellement, qu'elles ne prétendent les approfondir. C'est par indications que

procède toute théorie générale dans la physique actuelle. On montre la *possibilité* de la théorie, comme dans le *Traité d'électricité* de Maxwell. On se garde bien d'en tenter une élaboration complète et réelle. On cherche, en un mot, ce qui, malgré le gros inconnu des expériences futures, peut être assigné ou conjecturé en vertu des expériences passées. Et l'énormité de cet inconnu force nécessairement à des généralités très vagues et à une systématisation très superficielle.

Ce rôle et cette place faits à l'hypothèse ne caractérisent pas seulement la physique actuelle ; ils caractérisent encore les divergences de vues des différentes écoles, entre lesquelles nous ont paru se partager les physiciens contemporains. Tant qu'on pouvait croire que les fondements de la physique étaient assurés d'une façon inébranlable, il ne pouvait y avoir place pour des divergences sur les principes. Les discussions avaient lieu entre physiciens sur des points de détail, bien plus que sur les généralités, et si certaines découvertes particulières, comme dans la théorie de la chaleur ou de la lumière (hypothèse du calorique et de l'émission) amenaient les physiciens à varier, en tout cas les changements ne visaient qu'une forme particulière de la théorie sur un point particulier, et l'époque ultérieure présentait autant d'unité que l'époque précédente. On ne discutait jamais sur l'ensemble théorique de la physique ; on le modifiait sur certains points et on considérait ces modifications comme des modifications spéciales qui n'attaquaient en rien la *perennis physica*. Il y avait une physique traditionnelle.

Aujourd'hui, au contraire, on croit, et c'est une conséquence logique de ce qui précède, que c'est sur les points de détail que se réalise l'accord, car ces points de détail peuvent être tranchés par des expériences. Mais la plus grande latitude, la plus grande tolérance doivent être laissées quant aux théories générales, car celles-ci ne peuvent être que des hypothèses. Et le rôle et la place faits à l'hypothèse ont amené nécessairement dans tout le domaine des généralisations, c'est-à-dire dans toute la physique théorique les divergences des écoles. Ces divergences ont leur

raison d'être, et leur raison d'être fatale, dans ce fait que la physique générale est consciemment et volontairement une physique conjecturale. On voit ce que valent les critiques de la valeur objective de la physique qui s'appuient sur ces désaccords. Ce n'est pas sur la matière et le contenu de la physique qu'ils portent, c'est sur les anticipations de l'expérience, dans le domaine qui s'éloigne le plus de la source unique du savoir. N'est-ce pas, au contraire, par respect pour la valeur théorique de la science, pour sa valeur de savoir, que l'on a fait soigneusement le départ entre l'objectif de l'expérience et le subjectif des hypothèses ? Et n'est-ce pas ce départ qui permet la multiplicité, l'opposition, la contradiction des hypothèses ? On pourrait dire sans paradoxe, que jamais la valeur objective de la science n'a été plus assurée, plus nettement établie, et plus digne de notre confiance, que depuis que la diversité des opinions s'est donné libre cours dans le domaine de la physique théorique : Ceci marque, en effet, la conscience claire et distincte de ce qui est réel et de ce qui est hypothétique, du certain et de l'incertain, de l'objectif et du subjectif, du donné et du créé.

5. — L'évolution progressive de la physique en effectuant ce départ a, du même coup, consacré, par l'accord unanime de tous les physiciens, en face du champ ouvert à la diversité des hypothèses, des parties stables et définitives. C'est encore une conséquence de l'empirisme intégral qui caractérise l'esprit actuel de la physique. Si l'expérience est à elle-même son propre garant, et s'il n'y a point d'autre critère du vrai et de l'objectif que l'expérience, il faut qu'à travers toutes les transformations de la physique de l'avenir, demeurent intacts les résultats bruts de l'expérience, bien faite s'entend, et avec toutes les précautions et les corrections de la méthode expérimentale, avec toutes ses restrictions aussi, imposées par les limites de nos procédés expérimentaux. Tous les physiciens sont encore unanimes sur ce point. La physique expérimentale est un centre fixe contre lequel ne peut prévaloir aucun changement de théorie, aucune modification d'interprétation. La physique de

demain retrouvera toutes nos expériences bien faites et sera obligée de s'y conformer, strictement, comme la physique d'aujourd'hui.

On remettra donc les choses au point, en se défiant des formules de ce genre : l'expérience de demain peut contredire l'expérience d'aujourd'hui. Non, sur le terrain où veut rester placée la science et où nous sommes forcés de la suivre, l'expérience de demain ne peut contredire l'expérience d'aujourd'hui. Elle peut montrer qu'une expérience était mal faite ; mais en assignant, — grâce à une nouvelle expérience, — la cause de l'erreur, loin d'infirmer la validité du critère expérimental, elle le confirme. Elle lui donne toute la résistance souhaitable contre le scepticisme. Deux expériences contradictoires sont deux expériences où nous ignorons une des conditions essentielles de l'expérience. Et leur contradiction nous incite à la faire découvrir. La méthode des résidus n'est guère, en pratique, que l'illustration constante de cette remarque.

Il n'y a rien de moins honnête que ces critiques qui prennent pour base ce fait que la méthode expérimentale procède par moyennes, qu'elle corrige arbitrairement les expériences au nom de prétendues erreurs d'expériences, que toute expérience est en quelque sorte falsifiée par la méthode même du savant. Mais entre quelles limites oscillent ces corrections ? Tout ce qu'on peut en conclure, c'est que nos instruments et nos sens ne sont point parfaits, que notre technique a encore des progrès à faire, et que ces progrès... ne changeront les résultats obtenus que d'une façon infime et négligeable. Une moyenne d'expérience n'a-t-elle pas autant de valeur pour établir et mesurer le rapport de deux phénomènes qu'une expérience qui serait faite avec des instruments infiniment plus précis ? Le travail est plus long et plus difficile, mais il a même objectivité. Cet argument est aussi sophistique que celui des prétendues contradictions de l'expérience. Il n'est pas un physicien qui mettra en doute, et actuellement, et pour l'avenir, les résultats d'une expérience méthodiquement critiquée.

CHAPITRE V

Rôle et nature des théories physiques.

1. Le problème posé par l'intime union de la partie théorique et de la partie expérimentale dans la physique contemporaine. — 2. Sa solution : la conception méthodologique de la théorie physique. — 3. La théorie physique est un instrument méthodologique à un double titre : pour exprimer, systématiser et pour découvrir. — 4. Physionomie nouvelle de la théorie physique sous cet angle. — 5. Conséquence : les éléments encore hypothétiques des théories physiques ne doivent pas être discutés au point de vue de leur objectivité : ce serait de la métaphysique et non de la physique. Il faut se borner à analyser leur rôle instrumental. — 6. Equivoque possible ; comment elle est évitée. — 7. La théorie physique systématise l'expérience pour la prolonger, car pour être utile, il faut qu'elle repose sur l'acquis expérimental. — 8. *La multiplicité actuelle des théories physiques et l'unité idéale à laquelle elles aspirent.* Si la théorie physique est une méthode, on conçoit facilement pourquoi les théories physiques sont multiples et divergentes. — 9. On conçoit aussi comment, malgré cette multiplicité, l'unité et l'objectivité de la physique restent sauves.

1. — S'il était aisé de séparer ce qui est résultat de l'expérience et apport de la théorie, le problème de l'objectivité de la science physique serait réglé de suite. Mais, ce qui vient obscurcir la question, c'est que tous les physiciens s'accordent à dire qu'on ne peut distinguer ces deux sortes d'éléments que par une analyse artificielle et dans une certaine mesure arbitraire. La science réelle, concrète, les mêle intimement à tous les moments de son évolution.

Tous les physiciens mécanistes aujourd'hui considèrent

l'hypothèse comme une partie intégrante des sciences physico-chimiques, mêlée à toutes leurs opérations et laissant partout un résidu. Les physiciens de laboratoire qui devraient être le plus opposés à cette vue, sont ceux qui la soutiennent le plus énergiquement¹. Les physiciens qui se placent dans une attitude critique en face du mécanisme, comme H. Poincaré, montrent la théorie engagée constamment dans l'expérience qu'elle prolonge². L'énergétique enfin, avec Duhem, établit rigoureusement, complaisamment que toute expérience implique des éléments théoriques, que tout résultat expérimental nécessite une démarche de la pensée.

Mais alors, n'apparaît-il pas une contradiction insurmontable entre cette considération nouvelle et celles qui précèdent ?

Comment se fait-il que les physiciens contemporains affirment avec une égale autorité, une égale unanimité, que leur science est objective par ses attaches avec l'expérience, et que l'expérience n'est jamais indépendante de considérations théoriques et subjectives ?

2. — Puisqu'ils affirment à la fois les deux termes de cette antinomie, il faut chercher à sortir de la contradiction en s'élevant à un point de vue d'où les deux assertions soient possibles.

Quel rôle vient jouer dans la science la partie théorique ? et puisqu'elle ne se superpose pas à la partie expérimentale, puisqu'elle s'y mêle, comment peut-elle s'y mêler sans l'altérer ? Voici la solution : *La théorie constitue essentiellement une méthode*. On lui doit, au moins en partie, les résultats expérimentaux, et elle s'y trouve, elle y reste engagée, de même que, toujours, sous une forme ou sous une autre, l'objet porte l'empreinte de l'instrument qui a servi à le fabriquer ! L'unité de la théorie et du résultat expérimental n'est pas l'unité d'une combinaison où se

1. Lucien POINCARÉ in *Revue Pédagogique*, 1905.

2. Cf., la théorie des principes de la Physique, dans POINCARÉ : *La Science et l'hypothèse*. Le titre même de cet ouvrage indique la position de l'auteur dans cette question.

rencontrent confusément mêlés les éléments composants. Ce n'est pas une unité de position, une unité statique. C'est une unité dynamique, une unité fonctionnelle. La théorie physique est un des agents de la recherche expérimentale. Elle est un instrument.

En ce sens, la théorie ne vient pas subjectiver l'expérience, lui enlever de sa stabilité et de sa vérité. Bien au contraire, c'est l'expérience qui vient objectiver la théorie, lui infuser peu à peu une certitude du même ordre qu'elle. Car là où la théorie réussit, là où la théorie se montre utile, féconde, « commode », comme certains physiciens se plaisent à dire, là où elle est vraiment productrice, c'est qu'elle a une affinité avec le donné, qu'elle s'y adapte mieux, qu'elle est plus près de se confondre absolument avec lui, c'est qu'elle est plus adéquate, plus vraie, dans toute la force du terme *vrai*. La recherche théorique agit d'abord dans une unité profonde avec la recherche expérimentale, pour la provoquer et la suggérer. Mais ensuite, elle se trouve reliée à elle d'une manière plus profonde et plus réelle encore. Il reste toujours quelque chose d'elle dans le résultat expérimental, quelque chose de définitif et d'impérissable, non qu'elle l'altère, mais parce que, pour avoir servi à l'obtenir, elle se prête aussi à l'exprimer. Tout ne meurt pas dans l'instrument de la recherche scientifique. Il ne meurt que ce qui était subjectif et arbitraire ; il reste ce qui est objectif et nécessaire, ce qui s'accordait avec l'expérience, qui a été vérifié et qui ne fait plus qu'un avec elle.

La théorie a donc essentiellement dans la physique contemporaine une valeur méthodologique et heuristique. Le physicien l'emploie comme aide dans l'investigation de la nature parce qu'elle lui permet d'anticiper sur l'état actuel des connaissances physiques, de prévoir un résultat d'expérience, d'aller au-devant de lui et de susciter les conditions qui le manifesteront. L'expérience, disait Descartes sert à aller au-devant des causes par les effets. Cette phrase pourrait se traduire : L'expérience sert à aller au-devant de la théorie, de l'intuition rationnelle, par l'intuition sensible. L'inverse de cette proposition représenterait assez exacte-

ment la théorie de la théorie physique chez les physiciens actuels : La théorie sert à aller au-devant de l'expérience ; l'intuition subjective suggère la possibilité d'une intuition sensible ; et cette dernière lui servira de mesure et de norme. Voilà le postulat de l'empirisme contemporain. Mais qui ne voit alors que ce qui reste de la théorie dans l'expérience, c'est ce qui était une anticipation de l'expérience.

3. — On aura donc le droit de dire que tout résultat expérimental admet les éléments théoriques et subjectifs ; il ne pourrait exister sans eux. On aura également le droit de dire que le résultat expérimental n'en conserve pas moins toute son objectivité. D'après cette conception, la théorie physique est à la fois ce qui suggère la découverte, et ensuite, par ceux de ces éléments que la découverte conserve, ce qui sert à la systématiser et la situer dans l'ensemble des connaissances physiques. Elle est méthodologique à un double titre, étant à la fois le moyen par lequel on met en évidence une relation encore ignorée de l'expérience, et le moyen par lequel cette relation est reliée aux relations déjà connues. Elle éclaire l'inconnu en projetant sur lui la lumière du connu et elle amalgame les résultats anciens et nouveaux de la recherche dans une construction une et harmonieuse. Elle est l'instrument de la découverte et celui de la systématisation.

4. — Mais cette conception de la théorie physique ne s'accorde pas seulement avec tout ce que nous voyons de l'utilisation par la physique contemporaine de la théorie physique. Elle présente celle-ci sous un jour tout à fait nouveau. Lorsque, d'un côté, on considérait l'hypothèse comme un moment transitoire de la méthode, moment que les progrès mêmes de la science devaient se hâter de dépasser, l'hypothèse restait en quelque sorte en dehors de la science, comme une béquille dont il fallait au plus vite se débarrasser. Lorsque, par contre, on élevait l'hypothèse au rang de théorie permanente, fin de la science, on oubliait assez vite son caractère d'hypothèse ; insistant sur ses parties durables, on donnait à la théorie une valeur

ontologique. De là, les excès du mécanisme classique ; de là, la conception intuitive et cartésienne de la science ; de là, ce qui a motivé du dedans même de la physique, et ensuite avec de nouveaux excès, du dehors, la critique contemporaine de la physique et de la science en général.

La conception méthodologique de la théorie physique s'oppose d'abord à une conception purement psychologique, qui la considérerait comme une suggestion passagère dans l'imagination du savant, dans l'imagination individuelle. Elle s'oppose ensuite à la conception qui ralliait les grandes philosophies de la science et toute la tradition mécaniste : à la conception ontologique qui faisait de la théorie une intuition du réel, élevée au-dessus de l'expérience, presque indépendamment d'elle et à ses dépens.

La théorie physique n'a pas, par elle-même, et indépendamment de l'expérience, une valeur réelle. Seulement, elle a une valeur méthodologique. Elle n'est pas la suggestion purement individuelle, dont chaque savant peut se servir ou qu'il peut rejeter comme bon lui semble. Elle est l'instrument nécessaire du physicien ; un physicien ne fait pas de physique, sans une théorie quelle qu'elle soit. Et si plusieurs formes théoriques sont aujourd'hui en présence, elles ne s'opposent pas comme le rêve d'un individu au rêve d'un autre individu ; elles s'opposent comme la conception d'une école à la conception d'une autre école, c'est-à-dire comme quelque chose qui prétend à être stable, à rallier des esprits dans une même voie. La théorie physique se présente donc bien comme une méthode générale et non comme un procédé individuel. Elle n'est pas un instrument de fortune, elle est une technique indispensable et nécessaire, un organe vital.

On comprend aussi que, tout en intervenant constamment dans les résultats de la physique, elle ne puisse en aucune façon les altérer ni en diminuer la solidité, quelle que soit la part d'hypothèses et d'artifices qu'elle contienne, car elle n'intervient qu'à titre d'instrument, et elle ne laisse dans les résultats acquis grâce à elle, que la part acceptée et garantie par l'expérience, la part qui ne s'est trouvée ni

hypothétique, ni artificielle. L'acquis scientifique reste donc intact, sur la garantie de l'expérience et dans la mesure où cette garantie est valable.

5. — Si cette vue sur la théorie physique est exacte, — et même dans le mécanisme elle paraît bien ressortir de l'analyse des idées des physiciens — il en résulte une conséquence très importante : les débats sur la réalité de certaines notions employées dans les théories, perdent beaucoup de leur importance. Il ne s'agira pas de savoir s'il existe une réalité adéquate à notre concept de la force ou à notre concept d'atome, ou à notre concept d'énergie. Ces discussions entrent dans le domaine des discussions scolastiques.

Je ne veux pas dire par là que quelque'une de ces notions ne puisse pas avoir une valeur réelle. Mais je veux dire que ce n'est pas à une discussion actuelle, ni à un examen critique à l'établir. Ce sera à l'expérience de la manifester. Du jour où l'expérience nous révélera les atomes, nous serons fondés à parler de l'existence objective des atomes. Jusque-là, l'atome est une notion théorique. Nous n'avons pas à examiner sa valeur objective, mais sa valeur méthodologique, la fécondité, l'utilisation et la vraisemblance de l'hypothèse de l'atome, fécondité, utilisation et vraisemblance qui sont fonction l'une de l'autre.

Une systématisation qui superpose aux relations strictement données dans l'expérience, des relations générales, résultats d'une construction mentale, comme l'énergétique, ou une systématisation qui superpose aux relations strictement données dans l'expérience des relations hypothétiques et des anticipations souvent lointaines de l'expérience, comme toutes les théories qui se rattachent à l'esprit mécaniste, ne peuvent prétendre — actuellement du moins — qu'à une valeur technique, utilitaire, et non à une valeur objective. La théorie physique, ou plutôt la physique théorique, ensemble des théories physiques d'une même forme, n'est qu'un organon.

L'examen critique des théories physiques ne relève donc ni de la vérification scientifique *immédiate*, ni de cette partie

de la philosophie qui dépasse les résultats les plus généraux de la science. L'appréciation de la valeur de la théorie physique ne doit pas non plus entrer en ligne de compte dans l'appréciation de la valeur des résultats acquis par la science physique, puisque la théorie ne se propose pas comme un résultat de fait, mais seulement comme l'instrument d'une méthode. Cette valeur ne peut être appréciée que par rapport aux résultats que cette méthode permet d'acquérir, par rapport à sa commodité, à son utilité, à sa fécondité. La théorie physique relève essentiellement, sur le terrain positif, de la logique des sciences, c'est-à-dire de l'examen des méthodes proposées par les physiciens et des critiques qu'ils en font.

6. — A présenter les théories physiques comme des méthodes, on se heurte à une équivoque qu'il importe de prévenir.

Quand on parle de méthodes dans les sciences physiques, on songe toujours aux méthodes d'expérimentation indiquées d'abord par Bacon et développées ensuite par Stuart Mill et par tous les logiciens contemporains. Or, il est bien évident que la théorie physique n'a rien de commun avec ces méthodes, ni en elle-même, ni dans son rôle, ni dans ses applications ; elle existe à côté d'elles et vise un tout autre but. Les méthodes classiques indiquées à propos des sciences physiques sont des méthodes d'expérimentation, c'est-à-dire de contrôle. Une idée étant suggérée dans l'esprit, elles vérifieront le bien fondé de cette idée ; quelquefois elles pourront même en suggérer de nouvelles ; mais elles ne suggéreront ces idées nouvelles qu'autant que l'esprit aura été sollicité plus ou moins consciemment par des conceptions théoriques qui se seront précisément ajoutées aux indications qu'il reçoit de l'expérience. Le rôle méthodologique de la théorie est indiqué par là ; la théorie ou l'hypothèse constitue essentiellement *la méthode d'invention et de découverte* ; c'est elle qui fait surgir les idées préconçues dont parle Claude Bernard. Elle intervient donc dans la science à un moment différent de celui où interviennent les méthodes d'expérimentation, et pour un but

différent. Elle provoque l'idée qu'auront ensuite à contrôler les méthodes d'expérimentation.

7. — Mais pour que la théorie puisse jouer son rôle de méthode de découverte, il ne faut pas qu'elle soit une pure imagination, une chimère de l'esprit : elle serait complètement stérile, et ce fut là une des causes de la stérilité de la scolastique. Elle a besoin de sortir elle-même des nécessités de la science, de condenser en elle toute la réalité, qu'au moment où elle est émise, l'expérience acquise permet à l'homme de connaître. La théorie scientifique ne servira donc à la découverte qu'autant qu'elle est elle-même un résumé de l'expérience acquise, c'est-à-dire des découvertes antérieures, c'est pourquoi toute théorie physique est une systématisation de l'expérience ; elle systématise et classe les faits et les lois connus d'une part, et d'autre part elle fait servir cette classification systématique à la découverte.

8. — Si les théories physiques sont essentiellement des méthodes, on conçoit aisément qu'elles puissent être multiples. On le conçoit d'autant mieux qu'à tout prendre, et malgré ses grandes découvertes, la physique paraît encore très rapprochée de la période des origines. On discute encore, remarquons-le, sur la forme à donner à la systématisation des vérités mathématiques. Et cette systématisation ne commence à se fixer qu'actuellement. Peut-être, d'ailleurs, prenons-nous, selon l'humaine illusion, le moment actuel d'une évolution pour le moment où elle s'achève, parce que nous ignorons ce que sera demain. Mais admettons que les faits mathématiques aient trouvé en gros leur classement définitif.

Or les mathématiques n'ont-elles pas un objet infiniment plus simple que les sciences physico-chimiques ? Les mathématiques ne sont-elles pas constituées d'une façon positive, c'est-à-dire ne se présentent-elles pas comme une science claire et distincte dans son objet et ses procédés généraux, depuis plus de deux mille ans, alors que les sciences physico-chimiques n'offrent un pareil état que depuis trois siècles ? Qu'y a-t-il d'étonnant alors à ce que la forme théorique de la physique ne soit pas arrêtée ? Pour-

quoi s'étonner des divergences entre les idées des physiciens à ce sujet ? Le contraire serait bien surprenant.

Il y a plus : le contraire serait la preuve d'une résistance de la science physique à l'esprit positif et moderne.

9. — Cette remarque précise l'esprit général de la physique contemporaine. La multiplicité, les divergences n'existent et ne peuvent exister entre les physiciens que dans le domaine de l'hypothèse. L'hypothèse n'a, à son tour, de rôle que comme méthode de recherche. Les théories physiques ne sont multiples et divergentes qu'en ce qu'elles ont avant tout une valeur méthodologique, et que par là, elles relèvent de l'arbitraire de l'esprit, du choix, de l'hypothèse, sous quelque nom qu'on la déguise. Il en résulte que la divergence des théories ne saurait jamais être un argument contre l'objectivité et l'unité de la science physique. Il en résulte corollairement que cette unité et cette objectivité imposent à l'arbitraire dans le choix de la théorie, et aux divergences qu'il entraîne, des limites assez étroites.

CHAPITRE VI

Valeur de savoir des sciences physico-chimiques.

1. Des deux points de vue auxquels on peut se placer pour estimer la valeur d'une science : théorique et pratique. — 2. Comment on s'est servi de la valeur pratique de la science pour critiquer sa valeur théorique ou valeur de savoir. — 3. Les physiciens, eux, n'ont au contraire jamais tenu qu'à la valeur théorique de leur science. — Vérification de cette assertion pour les physiciens contemporains ; a) Duhem ; b) Mach ; c) Poincaré ; d) Le Mécanisme. — 5. Les physiciens contemporains s'accordent même à dire que la science physique est la seule connaissance possible de la nature matérielle, quelle que soit sa relativité. — La valeur pratique de la science ne peut que dériver de sa valeur théorique et par suite la prouver.

1. — De tout ce qui précède, il résulte que les sciences physico-chimiques ont une réelle valeur de *savoir*. Par *valeur de savoir* ou valeur théorique, j'entends leur valeur par rapport à une connaissance sans cesse plus étendue et plus profonde de la nature et j'exclus leur valeur par rapport à l'utilisation pratique des forces naturelles.

On peut se placer, en effet, à deux points de vue pour juger de la valeur d'une science, le point de vue théorique purement scientifique, et le point de vue pratique, technique, le point de vue du savoir et le point de vue de l'utilité.

Il est incontestable que tout ensemble de connaissances a des conséquences pratiques ; tout savoir est matériellement utile : c'est une des affirmations les plus nettes et les

plus légitimes des savants et des philosophes de la Renaissance. Jusque-là, l'utilité du savoir était une utilité purement spirituelle. Les Grecs, toutes les fois qu'ils ont parlé, au point de vue moral aussi bien qu'au point de vue de la connaissance, d'utilité (on dit quelquefois que Socrate est utilitaire), n'ont guère eu que cette notion spirituelle et presque esthétique de l'utilité. Il s'agit pour eux, non d'un intérêt matériel, mais d'un intérêt spirituel, d'un intérêt en quelque sorte désintéressé ; la notion d'utilité touche à la notion de beauté et de perfection, de même que le plaisir s'affine en joie sereine et en sagesse heureuse. La science, la contemplation théorétique, était pour eux le plus haut degré de cette sagesse, et la définition de cette perfection. Aussi était-elle essentiellement une satisfaction de la curiosité et du besoin de savoir. Elle était de la science pour la science, comme leur art fut de l'art pour l'art. La Renaissance, et à très juste titre, tout en continuant à proclamer plus haut que jamais la puissance spirituelle de la science, en fit ressortir avec Bacon, Galilée et Descartes, la puissance matérielle. Elle unit intimement, dans ses éloges enthousiastes de la science, sa force de savoir et sa force d'action.

La plupart des philosophes et des savants ne se sont plus départis de cette attitude, jusqu'à ce qu'une sorte de réaction assez vive contre la valeur spirituelle de la science se fût dessinée dans ce dernier tiers du xix^e siècle. C'est que la science, en s'affirmant comme positive, n'avait pas ménagé ses critiques — souvent intolérantes et superficielles — aux idées philosophiques et aux systèmes métaphysiques. Elle s'était souvent montrée agressive et railleuse. Alors que le positivisme semblait devoir marquer une séparation très nette entre le domaine des certitudes scientifiques et le domaine des hypothèses de la métaphysique, les savants n'avaient souvent pas craint d'empiéter sur ce dernier domaine. Ils firent à la fois, lorsque ceci leur arriva, de mauvaise science et de mauvaise philosophie. Les esprits critiques, les philosophes le leur firent bien voir. Et nous avons eu, après les attaques de la philosophie contre

la science, un retour offensif de la métaphysique dans le domaine proprement scientifique, une agression directe du mysticisme contre la science positive. La confusion continuait en sens inverse.

2. — Or, le principal argument à l'aide duquel cette réaction mystique a attaqué la science positive et tenté de renverser la barrière entre la certitude positive et la croyance métaphysique ou religieuse, c'est la puissance utilitaire de la science.

Les philosophes et les savants de la Renaissance, le fondateur du positivisme, qui sur ce point les continua, n'avaient pas songé à cette exploitation et à cette déviation de leur pensée. Ils avaient cru ajouter au respect et à l'admiration que nous devons avoir pour la science, à la reconnaissance qu'elle mérite, en faisant remarquer son utilité pratique. Ils n'avaient pas cru changer le signe de cette reconnaissance et l'objet de cette admiration. Dans leur pensée, c'était énoncer un titre nouveau de la science, titre qu'elle n'avait pas mérité jusque-là, à cause de la hardiesse spéculative des savants et du peu de cas qu'ils faisaient de l'expérience, des choses concrètes et pratiques.

En ramenant la science des hauteurs de la spéculation abstraite et stérile, à l'observation et à l'expérimentation patientes, les innovateurs de la Renaissance ne croyaient pas ramener la science du ciel sur la terre, et lui faire perdre en dignité, en vertu intellectuelle, ce qu'elle gagnait en puissance d'utilisation. Ils croyaient bien plutôt établir une échelle solide par laquelle on pourrait s'élever, sans risque, des faits vulgaires aux idées et aux théories. Dans leur esprit, la mission utilitaire n'était qu'une conséquence de la mission spirituelle de la science.

Mais le *xix^e* siècle, plus que tout autre, a vu l'extension énorme, presque infinie des applications pratiques de nos connaissances scientifiques, en particulier de nos connaissances mécaniques, physiques et chimiques. Ces dernières connaissances forment un ensemble partiel qui, par ses progrès, a, d'une part, concentré l'attention de la critique philosophique et, d'autre part, fort étonné l'univers dans ses

applications pratiques. Si bien que les sciences physiques jusque-là connues d'une élite intellectuelle, sont devenues populaires. Seulement elles sont devenues populaires par le seul côté qui frappe l'imagination naïve et puérile de ceux qui ne peuvent les contempler que du dehors : par le côté utilitaire, par la domination qu'elles ont permise des forces naturelles. La fin du xix^e siècle a assisté en même temps à la popularisation des sciences physiques et à leur interprétation dans un sens essentiellement pratique. A force de voir l'utilité des sciences physiques, on a fini par ne plus voir que l'utilité des sciences physiques. Elles sont devenues dans le langage abstrait et généralisateur de la critique philosophique, un ensemble de procédés techniques, — très subtils, très perfectionnés, très exacts et très précis, — pour manier les forces physiques, et rien de plus.

En somme, on peut noter une évolution très nette dans l'interprétation critique de la nature des sciences physiques : comme leurs applications techniques se multipliaient et grandissaient, la valeur d'utilité de la science a fait passer au second plan sa valeur de savoir, qui est sa valeur propre, normale, réelle. Lorsque, pour d'autres raisons, d'ordre social, plus particulièrement d'ordre religieux, raisons plus ou moins conscientes, on a cru, devant les exagérations, plus ou moins conscientes elles aussi, de certains zélateurs aveugles de la science, avoir à limiter la portée et la valeur des sciences physiques, on n'a eu qu'à préciser l'opinion courante qui en était peu à peu venue à confondre la science et ses applications.

La science est admirable, a-t-on dit ; mais qu'est-ce qui la rend admirable ? La maîtrise incontestable qu'elle nous donne sur les forces de la nature, ses services sans cesse et si rapidement croissants, son *utilité pratique*. La science est avant tout un procédé utile ou un ensemble de procédés utiles. Entre elle et l'art technique, il n'y a aucune différence. Et l'art technique, s'il se distingue de l'art imagiatif par son utilité, s'en rapproche en ce qu'il est une création *arbitraire* du génie humain.

Comme le vulgaire s'appuyait surtout sur la valeur de

savoir des sciences physiques pour attaquer, railler ou mépriser les révélations théologiques, on comprend combien aisément devait être accueillie de certains esprits cette négation formelle de la valeur de savoir de la physique. Elle trouvait un terrain d'élection dans un public ignorant de la science physique et tout entier pris par les inventions techniques qui en dérivait. Le développement de ce paradoxe séduisit les littérateurs.

L'enquête qui vient d'être faite ne montre-t-elle pas que cette interprétation est sophistique ?

3. — Oui, la science, et en particulier les sciences physiques ont une valeur d'utilisation ; oui, cette valeur d'utilisation est considérable. Mais elle est peu à côté de leur valeur de savoir désintéressé. Et c'est avoir passé à côté de la véritable nature de la science physique que de sacrifier cet aspect à l'autre.

On peut même dire que la science physique n'a par elle-même, et en elle-même, qu'une valeur de savoir. Sa valeur d'utilité est indirecte, car ce n'est pas la science qui utilise les phénomènes naturels et les met à notre service, mais les arts, les techniques qui se greffent sur la science. Ces arts ne procèdent en aucune façon comme la science. Ils partent d'un point de vue différent, nécessitent en général des génies distincts, des méthodes autres. C'est par une étrange confusion que l'on ne sépare pas, dans la vulgarisation, la science de l'art : par une confusion inexplicable, car il suffit de parcourir l'œuvre d'un savant pour y sentir à chaque pas cette distinction très nette. En tout cas, les savants la font sans méprise possible, à propos des sciences physico-chimiques.

4. — a) C'est d'abord Duhem. L'antithèse qu'il établit et développe entre les esprits abstraits et les esprits concrets, les conceptuels et les imaginatifs et la préférence très nette qu'il a pour les premiers, le léger dédain que l'on sent chez lui, malgré toute l'envie qu'il a de le dissimuler, pour ceux qui ont besoin d'un rapport matériel dans la théorie physique, tout cela nous montre déjà que pour lui la physique est avant tout un savoir, une connaissance théorique et

non une technique pratique. Il n'y a qu'à se rappeler les raisons qu'il assigne pour faire un choix entre les hypothèses nécessaires à la construction théorique. Les principales sont de l'ordre d'une esthétique intellectuelle. Dans tout ce qu'il dit de la structure de la théorie physique, on sent ce souci de l'élégance mathématique, de l'harmonie rationnelle, de la convenance parfaite des idées, qui caractérisent au plus haut point des préoccupations exclusivement intellectuelles et théorétiques. D'ailleurs, Duhem le dit explicitement à plusieurs reprises : la physique n'a jamais été et ne sera jamais, quoi qu'on en ait dit, un recueil de recettes empiriques. Il la compare souvent aux mathématiques et à la géométrie. Il est visible que pour lui la physique tend à devenir une science exacte, une science mathématique, donc une science conceptuelle, intellectualisée dans ses moindres parties. Elle se rapproche sans cesse de la science la plus désintéressée, la plus exclusivement théorique que l'on puisse citer, et toute l'œuvre de Duhem vise à rendre ce rapprochement plus intime. Il ne fait plus de la physique mathématique. Il fait une mathématique de la physique.

b) D'après Mach, tout l'édifice de la physique théorique se construit, s'élabore, absolument comme l'édifice même de la connaissance humaine : par une adaptation de l'être au milieu, qui se réfracte, à mesure, dans la conscience. Entre ce que nous appelons l'intelligence humaine, l'entendement humain, en un mot la raison, et une théorie physique, il n'y a, au point de vue du processus de formation et d'évolution, comme à celui de la valeur du contenu, aucune différence assignable.

La physique est donc une partie intégrante de cet ensemble que nous appelons l'intelligence ou la raison de l'homme, et elle n'est que cela. Elle peut avoir des conséquences pratiques ; notre intelligence, notre raison ont, elles aussi, un usage pratique. Est-ce une raison pour leur dénier leur propriété essentielle et constitutive, ce qui fait qu'elles sont, et ce qui les fait ce qu'elles sont : l'instrument de la connaissance ? Dans cet outillage complexe que l'espèce

humaine a élaboré pour connaître, — pour connaître selon sa nature et ses besoins, bien entendu, mais on sait qu'il ne peut s'agir d'absolu, quand on parle d'*espèce* humaine — la science physique est une pièce essentielle, qu'on ne peut ni transformer autrement qu'elle se transforme elle-même, ni supprimer, sans que notre connaissance cesse d'être ce qu'elle est, dans sa nature propre. Il est donc impossible de conférer à la physique une valeur de connaissance, une valeur de savoir plus grande que ne la lui confère l'énergétique. Elle est un fragment de l'intelligence humaine.

c) Avec Poincaré l'expression « commode » qui revient sans cesse dans ce qu'il a écrit sur la physique pourrait créer une équivoque sur la valeur de savoir qu'il lui accorde, si l'on ne prenait garde au sens particulier que cette expression prend chez lui, et s'il n'avait lui-même insisté sur la haute valeur de savoir de la science, sur son « éminente dignité ».

Les termes « commode », « utile », n'ont chez lui qu'un sens intellectuel et théorique. Pour construire une théorie physique, le physicien choisit ses définitions, ses concepts, ses fonctions, ses symboles, selon la commodité et l'utilité qu'ils présentent. Oui ; mais commodité, utilité, pour la connaissance, l'intelligence, la pénétration des phénomènes naturels, des relations objectives.

Ces termes ont perdu de leur sens pratique. Il n'y a, d'ailleurs, qu'à lire la conclusion de la *Valeur de la science*, pour ne plus conserver aucun doute.

d) Si les affirmations du mécanisme ont été plus particulièrement visées par les critiques contemporaines des sciences physico-chimiques, on pourrait pourtant s'attendre à ce qu'elles se rapprochassent de ces critiques par certaines vues utilitaires. Des mécanistes ont eu le dédain de la pensée pure, de la science contemplative. Historiquement ce sont des mécanistes qui ont attiré l'attention sur les applications pratiques de la science et sur l'empire qu'elle pouvait nous donner sur la nature. Historiquement, ce sont encore les conceptions mécanistes qui, par les représentations concrètes et maniables, tirées de machines usuelles, ont préparé les applications pratiques de la physique.

Aussi, est-on quelquefois étonné de voir la critique s'en prendre plus particulièrement à la physique mécaniste. On attendrait plutôt de cette critique, qu'elle présentât le mécanisme comme l'idéal scientifique par excellence, idéal essentiellement pratique, commandé au fond par des exigences techniques.

Mais cette critique a bien vu que le côté pratique et utilitaire du mécanisme n'est qu'un aspect secondaire et dérivé. Au contraire, la tendance du mécanisme a été plutôt de s'ériger non seulement en un savoir véritable, mais encore de se considérer comme un savoir absolu, comme la Science, avec un S. Cette prétention suscita précisément, en grande partie, la réaction sceptique. Mais alors, on voit tout de suite que le mécanisme, lui aussi, lui plus que tout autre, a maintenu et est disposé à maintenir sans défaillance, l'« éminente dignité » de la science. Et, de ce fait, si le mécanisme aujourd'hui renonce à la chimère de l'absolu, il continue à prétendre, d'abord, qu'il est une méthode de connaissance sûre et exacte, dans les limites de l'humaine faculté de connaître, ensuite qu'il est, toujours dans ces limites, la seule méthode de connaissance sûre et exacte.

5. — Cette dernière conclusion n'est pas, d'ailleurs, particulière à l'école mécaniste. Prétendre que la science physique procède d'après la seule méthode que nous permette de connaître, dans les limites de la connaissance humaine, la seule qui nous donne des résultats effectifs, semble encore un des points sur lesquels s'accordent tous les physiciens contemporains et par lesquels ils s'opposent à une philosophie sceptique de la science. Parce que tous les physiciens admettent, conformément aux affirmations positivistes, que les connaissances que nous apportent les sciences physico-chimiques sont relatives, il ne faudrait pas croire qu'ils lui opposent un mode de connaissance distinct, à qui serait réservé le privilège de faire connaître ce que la physique laisse ignorer. Certes, des physiciens peuvent, à côté de leurs connaissances scientifiques, avoir des croyances qui portent sur des problèmes d'ordre métaphysique. Mais ils ne confondent jamais croyance et con-

naissance. La relativité des connaissances physico-chimiques leur permet de *croire*, à côté de ces connaissances, à des affirmations au sujet desquelles la physique est incompétente. Elle ne leur permet pas d'en *connaître* l'objet. Nous ne *connaitrons au sens strict du mot* que ce que la science physique sera susceptible d'atteindre, et rien autre. Il n'y aura pas d'autre moyen de connaître dans le domaine qui est l'objet de la physique. Ainsi, quelque humaine que soit la mesure de la science physique, force sera de nous contenter de cette science. Si elle n'est qu'un éclair, comme dit Poincaré, c'est « *cet éclair qui sera le tout* ». Si elle n'est qu'une accommodation de la pensée, comme dit Mach, l'univers physique, pour nous, n'est et ne sera jamais autre chose que le résultat de cette accommodation de la pensée. Si c'est une mathématique toute formelle, selon la conception de Duhem, cette mathématique physique sera pour l'objet des sciences physico-chimiques ce que la mathématique pure est pour le nombre et l'étendue : la science parfaite, exacte de cet objet, étant donnés les moyens dont nous disposons pour *connaître*.

Cette remarque était importante, car elle caractérise encore nettement l'attitude des physiciens contemporains en face de celle qui leur est prêtée par la critique sceptique. Cette critique condamne la méthode scientifique en empruntant aux savants leurs propres arguments sur les limites qu'ils assignent à leurs connaissances ; elle la condamne à la fois comme incomplète et, ce qui est plus grave, parce qu'elle altérerait nécessairement son objet. Et elle lui oppose comme plus complète, plus exacte, plus réelle, plus vraie en un mot, une autre méthode, une méthode prétendue intuitive qui nous met à même les choses telles qu'elles existent, ou tout au moins les données sensibles qui les représentent, telles qu'elles sont. Cette méthode intuitive est inconnue des physiciens. Ils n'accordent une valeur de savoir qu'à la méthode scientifique. Ainsi, tandis que, pour ses contempteurs, la méthode scientifique n'a qu'une valeur pratique et que d'autres méthodes, seules, ont une valeur théorique, une valeur de savoir, pour les physiciens, au

contraire, la méthode scientifique, seule, possède cette valeur de savoir ; et les autres méthodes n'ont qu'une valeur pratique ou morale.

6. — De l'avis de tous les physiciens contemporains, la science physique se présente donc comme un ensemble de relations nécessaires, de résultats que l'expérience impose universellement et qui seront invariablement les mêmes dans les limites de la précision des instruments d'expérience, pour tous les savants qui s'astreindront à opérer dans les mêmes conditions. Cet ensemble de relations nécessaires constitue la valeur des sciences physico-chimiques, leurs résultats réels : ce sont elles qui nous permettent de dominer la nature, d'agir effectivement sur elle et qui fondent la valeur pratique de la science.

A l'inverse des propositions sceptiques, il semble donc légitime de dire que la valeur pratique de la science dérive de sa valeur théorique. Sa valeur d'utilisation n'existe que par sa valeur de connaissance. L'une et l'autre sont les deux faces inséparables et rigoureusement parallèles de sa valeur objective. Dire qu'une loi de la nature a une valeur pratique, dire qu'elle est commode pour représenter les données de l'expérience, les repérer ou permettre de les utiliser, revient à dire au fond que cette loi de la nature a une objectivité, qu'elle comprend des éléments issus du réel et convenablement représentatifs de l'objet.

Lorsqu'une philosophie considère qu'il n'y a pas de différences entre des propositions qui permettent la même action sur la nature, au lieu de déduire de là qu'il n'y a pas de connaissance théorétique, qu'il n'y a pas de distinction objective entre le vrai et le faux, elle semblerait bien plus logique en établissant des conclusions inverses. Agir sur l'objet implique une modification de l'objet, une réaction de l'objet conformes à une attente ou à une prévision contenue dans la proposition en vertu de laquelle on agit sur l'objet. Celle-ci enferme donc des éléments *contrôlés* par l'objet, et par l'action qu'il subit. Elle admet une *conformité* avec le donné empirique, conçu comme nécessaire. Il y a donc dans ces théories diverses une part d'objectif. La science a

pour tâche de la dégager, et par là, d'établir une vérité théorique en débrouillant les confusions actuelles. Inversement, là où l'on supprime toute valeur objective et toute nécessité, il n'y a plus d'action compréhensible de quoi que ce soit sur quoi que ce soit; on ne peut plus concevoir ce que peuvent signifier ces expressions : action, utilité, commodité, valeur pratique.

CHAPITRE VII

L'accord des théories physico-chimiques.

1. L'argument sceptique de la diversité des opinions, et son rôle dans la critique philosophique contemporaine de la science physique. — 2. Cet argument ne correspond pas à la réalité des choses ; a) ni dans la physique d'autrefois ; b) ni dans celle d'aujourd'hui. — 3. Conclusion : L'unité du développement de la science physique. — 4. Les divergences tiennent à ce que la physique n'est pas encore très éloignée de la période des débuts. — 5. Unanimité des physiciens contemporains sur l'unité finale de la physique. — 6. L'identité du contenu de la physique même théorique, sous les divergences de forme. — 7. A quoi se réduit d'ailleurs le fond des divergences entre les théories physiques. — 8. La dualité actuelle des théories physiques concourt elle-même à l'unité finale de la science physique. — 9. « L'art c'est moi, la science c'est nous ». — 10. L'anthropomorphisme de la science : son sens véritable. — 11. Conclusions générales.

1. — Les arguments de la critique sceptique de la physique contemporaine reviennent tous, au fond, au fameux argument de tous les scepticismes : la diversité des opinions. Mais les divergences entre les physiciens contemporains n'existent que dans la physique théorique, dans l'hypothèse systématisatrice. Elles ne peuvent, par conséquent, rien prouver contre l'objectivité de la physique ; tout le monde conçoit qu'un même contenu réel puisse être organisé de manière différente et que les hypothèses, les anticipations de l'expérience, puissent être multiples.

Mais, bien que les divergences théoriques ne puissent atteindre la valeur de la science physique, on peut encore prétendre sans paradoxe qu'elles sont beaucoup plus appa-

rentes que réelles. Jusque dans ses hypothèses et ses théories, dans ses procédés de systématisation et de découverte, il règne dans la physique une unité profonde qui reflète d'ailleurs l'unité de leurs origines : l'expérience, et ne peut être imposée que par l'objectivité de cette expérience. Le contenu expérimental et objectif de la science physique imposera sa marque aux tentatives de systématisation comme aux orientations de la recherche. Et, à son tour, l'accord, dans toutes leurs grandes lignes, de toutes les théories physiques touchant l'organisation générale du contenu expérimental de la physique, peut prouver, en quelque sorte *a posteriori*, l'objectivité de ce contenu.

2. — On peut distinguer dans l'histoire de la physique, comme dans toute histoire, de grandes périodes qui se différencient par la forme et l'aspect général des théories ; celles-ci ont toutes comme un air de famille, semblables à peu près en cela aux œuvres d'un même artiste ou d'une même école. Il faut donc que les sciences physico-chimiques au moins à chaque époque aient eu une certaine unité. L'arbitraire qui aurait procédé à la construction des théories, à l'organisation et à la systématisation des lois physiques a été, on est forcé de le reconnaître, singulièrement restreint.

Si l'on examine d'un peu plus près une de ces périodes historiques, on aperçoit assez vite pourquoi toutes les théories ont cet air de famille. C'est qu'à ce moment, l'ensemble des connaissances acquises et les grandes découvertes récentes ne laissaient pas le choix : elles *imposaient* une forme théorique générale ; tant il est vrai que dans les sciences physico-chimiques, comme dans toute science du reste, la systématisation et la théorie, les vues de l'esprit sont commandées par les données expérimentales, ou si ce mot paraît trop précis, quand on songe, par exemple, à la mathématique, par le contenu, la matière de la théorie et la nature de son objet. La physique théorique est donc fonction de la physique expérimentale, par suite de l'acquis scientifique d'une époque donnée. Nécessairement alors, la physique a pendant un certain temps, — l'acquis scienti-

fique ne se modifiant pas à chaque instant d'une manière très sensible, — un aspect particulier et bien caractéristique. Mais vienne une de ces découvertes qui retentissent sur toutes les parties de la physique, parce qu'elles dégagent un fait capital, jusque-là mal ou très partiellement aperçu, et l'aspect de la physique se modifie ; une nouvelle période commence.

a) C'est ce qui est arrivé après les découvertes de Newton, après les découvertes de Joule-Meyer et Carnot-Clausius. C'est ce qui paraît en train de se produire depuis la découverte de la radioactivité. La physique présente donc toujours une unité organique solidement établie ; cette organisation unitaire conserve ses traits principaux pendant une période assez longue. Les divergences ne sont donc jamais très profondes. L'ardeur de la lutte les accentue plus que leur réelle importance ne le comporte. L'historien qui voit ensuite les choses avec le recul nécessaire n'a pas de peine à démêler, là où les contemporains montraient conflits, contradictions, scissions en écoles différentes, une évolution continue.

b) Il semble que la crise qu'a traversée la physique en ces dernières années (malgré les conclusions qu'en a déduites la critique philosophique) n'est pas autre chose. Elle représente même très bien le type de ces crises de croissance amenées par les grandes découvertes nouvelles. La transformation indéniable qui en résultera (y aurait-il évolution et progrès, sans cela ?) ne modifiera pas sensiblement l'esprit scientifique.

Cette nouvelle constatation amène une conclusion importante. Non seulement, la physique conserve pendant chacune de ses grandes périodes une physionomie identique, mais d'une période à l'autre, il n'y a jamais rupture et discontinuité.

C'eût été encore un argument assez puissant du scepticisme, si à chacune des grandes périodes historiques de la physique, si peu nombreuses qu'elles soient, il avait pu faire constater des différences irréductibles avec la période précédente. Il n'aurait plus existé, en effet, de physique se

développant et se complétant par les efforts des savants, mais des physiques se succédant les unes aux autres et se substituant les unes aux autres, comme au temps des spéculations grecques. La diversité aurait encore pu faire obstacle irrémédiablement à l'unité scientifique, par suite à l'objectivité et à la certitude du savoir. Brunetière aurait pu dire — alors avec quelque raison — qu'à chaque génération, la science physique était à refaire. Or, est-ce vraiment cela que nous constatons dans l'histoire de la physique ?

3. — Nous voyons au contraire que les théories opposées, dressées par les savants, les conflits dans lesquels ils sont entrés les uns avec les autres, se résolvent toujours dans une théorie nouvelle, grâce à quelque découverte nouvelle. Une divergence n'est qu'un point d'interrogation, un problème qui se pose. La faire disparaître, voilà l'essence même de la découverte scientifique. C'est en ce sens qu'un astronome a pu dire que la méthode scientifique par excellence, celle qui fait progresser les sciences, c'est la méthode des résidus. Un phénomène reste sans explication dans une théorie scientifique. C'est un résidu insoluble. Sur lui aussitôt se bâtissent des théories contradictoires et s'engagent les conflits entre savants. Puis un beau jour, tout s'éclaire, la théorie définitive est trouvée ; elle rallie tout le monde. Et l'on voit alors que la contradiction des théories n'était qu'apparente et superficielle. Elle provenait non de ce que nous savions, mais de ce que nous ignorions. Les résultats avec lesquels le phénomène résiduel ne semblait pas pouvoir s'accorder restent exacts, puisqu'ils étaient le résultat de l'expérience ; le phénomène résiduel, donné par l'expérience ne peut pas non plus être autre qu'il n'est. Mais une expérience nouvelle permet de trouver un *moyen de concilier* tous ces résultats ; les uns et les autres nous apparaissent non plus comme contradictoires, mais comme corollaires. Les théories physiques n'ont pas été détruites ; elles ont été débarrassées d'erreurs hâtives, elles ont été complétées, elles ont progressé. Les phénomènes résiduels de l'hypothèse de Copernic, qui supposent encore le mouvement des planètes circulaire, a amené évolutivement

l'hypothèse elliptique de Kepler. Evolution et non révolution, voilà ce que nous trouvons en examinant les sécessions scientifiques en apparence les plus nettes. Duhem, qu'on pourrait croire peut-être de tous les physiciens le plus disposé à admettre des ruptures, des sauts dans la tradition scientifique, n'hésite pas à l'affirmer de la façon la moins équivoque.

4. — La raison pour laquelle les divergences et l'unité sont compatibles, la raison qui fait encore, malgré l'apparence paradoxale de la formule, que les premières servent en fin de compte la seconde, c'est que la physique est dans sa période de début. Malgré le nombre et la grandeur des découvertes qui se succèdent depuis trois siècles, cette expression n'est pas exagérée, quand on compare le champ de nos connaissances au champ de notre ignorance dans le domaine physico-chimique. Ce domaine n'est en rien comparable à celui des mathématiques, ou plutôt il est comparable à celui des mathématiques, alors que les premiers géomètres grecs essayaient de rationaliser les recettes empiriques, souvent contradictoires, que les peuples de l'Orient et le peuple grec possédaient déjà, relativement à la mesure et aux relations de certaines grandeurs : rationaliser, c'est-à-dire les expliquer en les rattachant à leur condition, en cherchant leur raison d'être, en montrant un enchaînement nécessaire entre certains principes plus généraux et certaines conséquences particulières. Ainsi ramenaient-ils à l'unité et à l'exactitude les procédés divers et fort inexacts que l'on employait pour la mesure des aires et des volumes, pour le calcul des fractions, pour la division ou l'extraction des racines.

L'histoire des mathématiques, ce type de la science vraiment une, dans toutes ses parties achevées, nous montre cependant souvent encore les voies fort différentes, pour dire le mot, les théories diverses, par lesquelles on arrive à établir des résultats identiques.

Seulement, la mathématique a ce privilège d'avoir un objet d'une particulière simplicité. Aussi par ses progrès, par le temps considérable, si on la compare aux autres

sciences, depuis lequel elle a arrêté en gros ses méthodes, elle ne se prête guère à des divergences théoriques sensibles.

Tout autres nous apparaissent les sciences physico-chimiques. L'objet y est extrêmement compliqué en comparaison de celui des sciences mathématiques. Et plus elles progressent, et plus augmente la complication, car des phénomènes, des ensembles très vastes de phénomènes, jusque-là insoupçonnés, s'y révèlent à chaque instant. On ne l'étudie que depuis trois siècles d'une façon méthodique et par des procédés adaptés à son objet et qui ont fait leurs preuves. Partout l'inconnu ou le très imparfaitement connu débordent ce qui l'est à peu près et rendent hésitant sur le caractère définitif de ces maigres connaissances. Ces raisons ont concouru à donner à la physique l'aspect qu'elle a gardé jusqu'à nos jours. Elle ne pouvait pas nous présenter, malgré l'unité de son devenir, autre chose que ces divergences, les théories se substituant les unes aux autres, tout en se corrigeant et en se complétant les unes les autres. La physionomie actuelle de la physique n'est donc pas celle qu'elle présentera toujours. Tout porte à penser, au contraire, qu'elle n'est due qu'à des contingences relativement transitoires (bien que ce transitoire puisse durer des siècles, et que rien encore ne fasse prévoir sa fin imminente). Les divergences, les oppositions mêmes que l'on remarque entre les théories physiques iront donc en s'atténuant, à mesure que la physique progressera ; et elles sont allées en s'atténuant à mesure que la physique a progressé. Elles ne tiennent pas à la nature de la physique ; elles tiennent à la phase initiale de son développement.

5. — Aussi, dès qu'on lit les réflexions d'un physicien, quel qu'il soit, sur la physique, ne le voit-on jamais émettre le moindre doute sur l'unité profonde de sa science et sur l'accord final des théories, au moins dans leurs lignes générales. Tous sous-entendent que les divergences ne sont que temporaires. Ce sont des divergences sur des moyens accessoires que le savant emploie pour atteindre les résultats qu'il vise. Mais ces moyens accessoires, nécessités par l'in-

suffisance de nos connaissances, ne sont pas à proprement parler des parties intégrantes de la construction scientifique. Elles ressemblent plutôt à ces étais et à ces échafaudages qui auront complètement disparu dès que la grosse construction sera achevée.

Duhem, malgré l'insistance avec laquelle il parle de l'arbitraire du savant dans l'élaboration de la théorie physique et l'âpreté de la lutte qu'il a engagée avec le mécanisme, avance, sans équivoque, qu'au milieu du chaos des théories diverses, le choix finira par se déterminer, nécessairement, pour *une* théorie et une seule.

Poincaré est un des physiciens qui, comme historien de la physique, a le mieux montré l'unité de son devenir, à travers les divergences momentanées. Il a insisté à plusieurs reprises, comme Duhem, sur ce fait que rien n'est jamais perdu des conceptions les plus générales et, au premier abord, les plus aventurées de la physique théorique. Le temps découvre leur insuffisance, mais les conserve comme expressions partielles de nos connaissances physiques. Des principes peuvent bien devenir inutiles, sans intérêt et sans application, dans des parties nouvelles ; ils n'en restent pas moins propres à systématiser les anciennes et la manière même dont le physicien les a posés assure qu'on ne pourra jamais montrer qu'ils sont faux. Dans les conférences qu'il a faites à Saint-Louis, Poincaré a dressé le tableau des principes qu'admet la physique actuelle ; le principe de Mayer ou principe de la conservation de l'énergie, le principe de Carnot, ou principe de la dégradation de l'énergie, le principe de Newton, ou principe de l'égalité de l'action et de la réaction, le principe de Lavoisier, ou principe de la conservation de la masse, le principe de moindre action. Ces principes conservent l'essentiel, soit qu'ils leur soient explicitement identiques, soit qu'ils les impliquent, des principes qui ont été élaborés par les physiciens depuis la Renaissance. C'était la meilleure façon de montrer l'unité de la physique actuelle et l'unité de son devenir. Et l'on comprend que le savant ait pu conclure un de ses articles antérieurs à ses conférences, par

ces mots : « Tout compte fait, on s'est rapproché de l'unité. »

6. — La preuve la plus décisive de cette tendance unitaire des sciences physico-chimiques est aussi bien fournie par l'examen des principes, admis dans les théories générales des physiciens, que par les affirmations de ces derniers. Il n'y a, pour s'en rendre compte, qu'à comparer l'exposé de la physique théorique telle que la présente Duhem et celui qu'en donne un mécaniste. La seule différence n'est-elle pas que le mécaniste procède selon la méthode euclidienne du cas particulier privilégié au cas général, par généralisations successives, tandis que Duhem pose d'abord le cas général, résumé de l'expérience totale, et retrouve les cas particuliers en levant ou en ajoutant les restrictions nécessaires ? Le premier établit par extensions successives la formule générale en suivant à peu près la marche des découvertes ; le second part de la formule la plus générale et aussi la plus récente, comme il convient : il la considère comme acquise et il redescend aux cas partiels, autrefois les seuls connus. Mais, sauf le mode de présentation, le contenu total est finalement identique.

7. — Dans la théorie énergétique, on essaie d'enchaîner toutes nos connaissances expérimentales à partir des principes fondamentaux de la thermodynamique, des lois générales relatives aux transformations de l'énergie : la loi de la conservation de l'énergie et le principe de Carnot. La théorie mécaniste, au contraire, essaie d'enchaîner toutes les lois de la physique à partir des principes de la mécanique : conservation de la masse, principe de l'égalité de l'action et de la réaction, principe de la superposition des mouvements. Or, dans la théorie énergétique, on retrouve tout de suite les principes de la mécanique : on considère que les lois de la mécanique se déduisent des lois relatives à l'énergie, lorsqu'on fait abstraction de tout ce qui n'est pas mouvement dans les systèmes matériels, lorsqu'on simplifie ces systèmes en éliminant toutes les restrictions qu'apportent les manifestations de l'énergie autre que l'énergie mécanique. Et dans la théorie mécaniste, on con-

sidère qu'il faut partir des éléments les plus simples et les plus généraux que les systèmes matériels offrent à l'observation du physicien : le mouvement et ses lois, et que, progressivement, on compliquera ces lois très simples et très générales pour que les résultats de la théorie coïncident avec l'expérience. On rencontrera ainsi toutes les lois relatives aux différentes formes et manifestations de l'énergie, en partant soit des principes de la mécanique, soit d'après les théories mécanistes les plus récentes, des lois générales de l'électro-magnétisme. En somme, on peut dire que les différences incontestables qui existent entre les deux grandes théories physiques dans la manière d'ordonner les acquisitions de l'expérience ne sont pas considérables. La classification reste la même. Ce qui diffère, c'est la manière de présenter cette classification, c'est ce que des préoccupations différentes et peut-être même des besoins différents, mais également nécessaires de la science introduisent d'artificiel dans la façon de l'organiser.

8. — Pourquoi d'ailleurs s'étonner des divergences auxquelles conduisent les théories physiques ? Même dans les sciences qui nous paraissent les plus exactes, les mieux assises, dans les mathématiques, ne voyons-nous pas se manifester des divergences analogues, selon la part que l'on veut faire ou que l'on refuse à l'intuition, c'est-à-dire à la représentation concrète à côté de l'enchaînement purement abstrait de notions conceptuelles ? Les divergences entre l'énergétique et le mécanisme ne sont, au fond, pas autre chose ; seulement, l'objet de la science étant beaucoup plus complexe, elles paraissent plus accentuées.

Or, il n'est peut-être pas impossible de voir quel est le motif d'un différend que l'on retrouve à peu près analogue dans toute l'étendue du domaine scientifique. Cette raison serait peut-être bien d'ordre psychologique et, par suite, n'intéresserait à aucun degré la valeur de la science, pas plus que la différence des caractères n'intéresse la valeur d'une règle sociale. Selon l'éducation ou la tournure d'esprit, l'imagination se présente, comme l'ont remarqué tous les psychologues, sous une forme abstraite ou concrète.

Les uns ont une difficulté considérable à se représenter des images ; ils se meuvent, au contraire, avec facilité dans les idées générales. Ils ont donc une tendance à abstraire toujours le plus qu'ils peuvent, à tout ramener à des notions conceptuelles et à l'enchaînement logique. Ils élimineront ou croiront avoir éliminé tous les résidus de l'intuition. Les autres, au contraire, ne peuvent pas concevoir clairement des formules aussi abstraites ; ils ont besoin d'emprunter toujours à l'intuition concrète des éléments figurés qui leur rappellent les objets tels qu'ils les perçoivent. Ils ne peuvent ni penser sans image, ni enchaîner des idées sans associer entre elles des images. Ils ont nécessairement moins de rigueur logique que les premiers et ils tiennent moins à la rigueur parfaite ; mais ils ont, d'autre part, un sens beaucoup plus vif du concret, ils voient mieux les nuances. Ils se contentent moins facilement d'idées générales et veulent pénétrer dans la nature même des choses, toujours plus avant.

Cette remarque que Duhem a le premier formulée avec précision en appelle, à mon avis, une autre : les deux genres d'imagination sont également utiles, nécessaires à la science physique, peut-être à la science en général, car chacun est plus spécialement apte à un côté particulier de la tâche scientifique. Les esprits abstraits sont mieux faits pour ordonner ce qui a déjà été acquis, les connaissances bien établies ; ils revêtent la science de sa rigueur logique et de son exactitude rationnelle. Les seconds sont, au contraire, mieux faits pour découvrir ; c'est à eux surtout, et l'histoire des sciences le confirmerait facilement, que nous devons la plupart des choses que nous avons apprises. On voit de suite que les théories énergétiques seront l'œuvre du premier genre d'esprit, et serviront remarquablement à classer et à utiliser la science acquise. Les théories mécanistes seront l'œuvre des esprits à tournure concrète et serviront surtout à l'investigation et à la découverte. D'où il semble qu'on puisse conclure que c'est à deux formes particulières de l'imagination que sont dues les divergences théoriques. Chaque savant est porté vers la méthode qui

convient le mieux à son genre d'esprit. Les divergences n'ont donc qu'une importance secondaire puisqu'elles restent enfermées dans les procédés particuliers avec lesquels chaque savant croit le mieux travailler à l'édification de la science. La science elle-même garde au milieu de ces divergences individuelles dont elle ne peut que profiter, toute sa valeur, sa nécessité et son universalité.

Bien plus, un certain nombre de physiciens (Van t'Hoff, par exemple¹) n'hésitent pas à considérer l'énergétique et le mécanisme comme deux formes de la physique théorique également nécessaires et également valables. Non seulement elles peuvent coexister, sans porter atteinte à l'unité de la physique, mais encore elles le doivent, pour la compléter. La théorie énergétique représenterait à chaque instant le contenu certain de la science physique, sous la forme la plus rigoureuse et la plus sobre. Elle servirait ainsi remarquablement à toutes les utilisations, les applications que l'on peut faire des résultats théoriques. Elle se présenterait comme le formulaire impeccable de nos connaissances physiques et des arts de l'ingénieur. Au contraire, l'hypothèse mécaniste serait le guide indispensable au chercheur, au praticien du laboratoire. Elle pousserait constamment à expliquer, à pénétrer plus avant, à découvrir. En elle, il faudrait voir l'instrument précieux de l'invention. Ainsi, pour le plus grand bien de la physique, se prêteraient un mutuel secours l'énergétique, description élégante de ce qu'on sait, le mécanisme, effort pénétrant pour expliquer ce qu'on ignore.

9. — La physique contemporaine est donc bien animée d'un esprit général et uniforme. Il n'est rien en elle qui puisse faire perdre notre confiance en sa valeur de savoir, en son universalité pour tout esprit fait comme le nôtre. La science reste la chose du monde qui vise à être la mieux partagée. Et si la raison, la lumière naturelle, comme on disait au XVIII^e siècle, le bon sens comme on disait au XVII^e siècle, sont les noms qu'on donne à ce communisme

1. Préface du 1^{er} volume (*La dynamique chimique*) des « Leçons de chimie physique professées à l'Université de Berlin ».

de la compréhension, la science est vraiment l'œuvre de la raison ; elle est rationnelle dans ses moindres parties, parce qu'elle vise toujours à la nécessité et qu'elle ne vise qu'à cela. Elle se désintéresse en elle-même de toute utilisation pratique. Elle la laisse aux différentes techniques qui se greffent sur elle. Elle résorbe toujours enfin dans une œuvre plus haute, les originalités individuelles qui n'ont été pour elle qu'une aide provisoire. La parole de Claude Bernard reste vraie : « *Si l'art c'est moi, la science c'est nous.* »

10. — La science, c'est *nous* : cette formule donne le sentiment très net de l'objectivité de la science, objectivité faite de nécessité et d'universalité. La science, c'est ce que nous tous, nous connaissons, ce qui ne dépend pas de mon goût, de ma tournure d'esprit, de ma volonté, de mon arbitraire, mais bien des conditions communes de toutes nos intelligences : des conditions *humainement* nécessaires, et *humainement* universelles, de la connaissance. Cet anthropomorphisme ne peut être évité ; mais il suffit de marquer qu'ainsi entendu, il est l'antithèse de l'anthropomorphisme dans son sens usuel. La science, c'est *notre* mesure des choses, mais ce n'est pas la mesure que chaque homme ou chaque tendance d'esprit, ou chaque société imagine se faire des choses : ce qui est le sens ordinaire du mot anthropomorphisme. Il faut prendre le terme *ανθρωπος*, non pour désigner l'espèce ou l'individu, mais le genre, si l'on veut que la qualification d'anthropomorphique s'applique encore à la science. Elle est synonyme alors de conception nécessaire et universelle pour tout ce qui appartient au genre humain. Et à moins d'entrer dans le domaine d'un mysticisme qui n'a aucun titre à imposer ses conclusions, quel sens les mots « nécessaire et universel » peuvent-ils avoir pour un homme, sinon ce qui s'impose à tous les êtres que leurs caractères essentiels permettent de désigner de ce nom ?

Mais par là même, on voit la part de subjectivité qui entre dans l'objectivité de la science. Il est exact qu'elle est une création de *l'homme*, un instinct de l'espèce, un pro-

duit commun à toutes les sociétés humaines dès qu'elles sont suffisamment intellectuelles. Elle est une œuvre de l'humanité. Bacon a dit que l'art, « c'est l'homme ajouté à la nature ». Ainsi traduite, l'expression est fausse, ce n'est pas l'homme, c'est l'individu, c'est *un* homme ajouté à la nature. L'art, c'est la nature vue à travers un tempérament, un génie irréductiblement original. Mais la formule de Bacon pourrait parfaitement convenir à la science, en prenant le sujet de sa proposition dans toute sa généralité. La science, c'est *l'homme* ajouté à la nature ; c'est la nature universelle vue à travers la nature humaine : c'est ce à quoi *tous* les hommes doivent identiquement arriver lorsqu'ils s'efforcent de donner à leur connaissance le plus de certitude et le plus d'exactitude possible.

Il résulte de là que la structure psychologique de l'homme, que l'exercice de ses fonctions cognitives doivent laisser dans la science une trace indélébile. Celle-ci porte la marque de la fabrication humaine. L'intervention de l'ouvrier, quel que soit son désir de s'effacer, de réfléchir plutôt que de réfracter et de déformer, y sera à jamais discernable. Seulement, ce n'est pas l'intervention de tel ouvrier particulier qu'on sera amené à constater, sauf dans des cas exceptionnels et pour des nuances que le temps et les progrès de la science feront toujours disparaître. C'est le label du travail humain et non la signature d'un individu, que la critique verra dans toute œuvre scientifique.

11. — Tout ce qui précède aboutit à cette conclusion : Rien n'autorise à considérer la physique actuelle comme un exemple de spéculations arbitraires, ou comme une simple juxtaposition de règles techniques. Rien n'autorise à lui enlever sa valeur théorique, sa valeur de savoir. La crise qu'elle traverserait et qui se serait déjà dénouée par une faillite officielle a existé peut-être dans l'imagination des littérateurs et des polémistes. Il semble impossible de trouver à cette thèse un fondement sérieux dans les idées que les physiciens se font de leur science et des résultats qu'ils obtiennent ; et à qui s'adresser, sinon aux physiciens pour

résoudre cette question ? La physique, décret arbitraire de l'esprit, la physique, qui ne serait plus expérimentale et objective, la physique, qui ne serait plus une science de la nature, qui ne serait plus la « science *physique* », voilà un thème ingénieux qui rappelle la dialectique hégélienne et l'art de concilier les contradictoires. Mais, confrontée avec les faits, c'est-à-dire avec les données historiques, les documents que nous trouvons chez les physiciens, cette interprétation paraît purement et simplement reposer sur un abus de mots : elle force le sens de certaines expressions, déjà très imagées, qu'ont employées quelques savants pour être plus expressifs, et lutter contre l'intransigeant dogmatisme métaphysique de l'ancien mécanisme. Elle a changé complètement le sens d'une transformation heureuse de l'esprit de la physique moderne, d'une transformation normale qui était tout à fait dans le sens de son évolution et de l'évolution scientifique générale, au moins depuis la Renaissance. Cette interprétation ne répond en rien à l'esprit actuel de la physique ; elle ne tient aucun compte de cet esprit, des besoins et de l'état véritable de la science physique contemporaine. Aussi, si elle a soulevé l'émotion du public et des philosophes, les physiciens sont, en général, restés dédaigneux et indifférents.

Ces conclusions seraient justifiées d'une façon remarquable par l'examen des opinions philosophiques des physiciens contemporains, — examen qui sort des limites de ce travail. — Ce serait en quelque sorte la contre-épreuve, le renversement de l'expérience.

Eh bien, d'un examen aussi sommaire qu'on le veuille des idées philosophiques des physiciens contemporains, il ressort immédiatement ceci : c'est qu'elles sont les plus diverses possibles. Les directions les plus opposées de la pensée philosophique contemporaine y ont leur écho. En gros, nous trouvons au point de vue de la théorie de l'objet des physiciens pour qui la qualité est l'essence des choses (Ostwald, Duhem, peut-être Lippmann), des physiciens pour qui cette essence consiste dans la quantité (le plus grand nombre des cinétistes). Interférant avec ces deux

directions, les physiciens ont chacun leur théorie de la connaissance. Les uns pensent que la connaissance scientifique épuise toute la nature de l'objet, qu'au terme, la science aura absorbé la métaphysique et qu'il n'y aura plus d'inconnaissable (Ostwald, un grand nombre de cinétistes). Les autres pensent que la connaissance scientifique n'est qu'une partie de la connaissance, qu'elle est limitée, qu'elle ne se satisfera jamais elle-même : *Ignorabimus* (Duhem, parmi les métaphysiciens de la qualité ; du Bois-Reymond, parmi les mécanistes). Ostwald pense que si l'on a pu soutenir *l'ignorabimus*, c'est parce qu'on reste mécaniste et atomiste. Duhem, qui professe comme Ostwald une métaphysique, une cosmologie de la qualité, soutient pourtant ce même *Ignorabimus*, au point de vue de la physique pure.

Malgré des opinions philosophiques si diverses (on n'a parlé ici que des thèses extrêmes, en laissant de côté toutes les nuances), l'accord le plus complet existe entre tous les physiciens, sur la science physique, sur son esprit général, sur la valeur de ses résultats et ce qui fonde cette valeur.

Tandis que chacun peut dire, pour la philosophie (du moins dans une certaine mesure) aussi bien que pour l'art : « La philosophie, c'est moi », nous sommes en fin de compte tous obligés de dire : « La science, c'est nous. »

LIVRE VI

QUELQUES INDICATIONS SUR LA PHILOSOPHIE DE LA CONNAISSANCE QUE PARAÎT IMPLI- QUER LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE.

CHAPITRE PREMIER

Liaison étroite de la vérité et de la nécessité.

1. Connaissance vraie signifie connaissance nécessaire. — 2. La critique sceptique a bien vu cette liaison du nécessaire et du vrai. Elle a cherché à la contester, reprenant en cela une tactique déjà souvent suivie par le scepticisme. — 3. La physique contemporaine maintient au contraire cette liaison et semble préparer une philosophie qui, de même façon et pour les mêmes raisons que le cartésianisme ou le kantisme, fera au nécessaire sa part. — 4. Seulement ce nécessaire paraît devoir être entendu en un sens plus expérimental.

1. — En face des domaines où je puis faire ce que je veux, où mon arbitraire imagine à sa guise et donne son adhésion à ce qu'il veut, en sentant qu'il pourrait ne pas la donner, si bon lui semblait, il y a un domaine où les représentations et leur ordre ne dépendent pas de ma volonté, de ma croyance, quelle que soit la cause inconnue de cette nécessité : structure mentale de l'espèce ou système de réalités antérieures. Ces données *nécessaires* qui sont dans le champ de la science physique les résultats de l'expérience, définissent la vérité scientifique, par opposition à toute espèce de croyance, parce qu'elles défi-

nissent la vérité scientifique par opposition à ce qui dépend de l'arbitraire et de la volonté.

La certitude dans la science physique se trouve donc déterminée par les éléments d'un ordre tout à fait différent de l'ordre des éléments qui déterminent la croyance. Ces éléments sont les résultats de l'expérience. L'expérience est caractérisée par sa nécessité. Cette nécessité peut se définir comme une indépendance complète vis-à-vis de la volonté et de l'arbitraire conscients de l'esprit. L'esprit normal ne peut pas se refuser aux constatations qu'elle impose. Il y a là quelque chose qui résiste à la liberté des représentations et des constructions de l'imagination. Nous ne sommes plus sur le terrain de la représentation libre, de l'imagination créatrice. Nous sommes sur le terrain de la représentation nécessaire qui, après trois siècles de critique, semble le résidu indestructible de l'ancienne conception des vérités éternelles. C'est ainsi que nous retrouvons l'objectif en un sens phénoméniste ou positiviste, et que la vérité, dans la science, peut toujours revendiquer l'ancienne définition que la logique donnait de la vérité : l'adéquation de la pensée à son objet.

De quelque manière que nous prenions le problème de l'objectivité, de quelque manière qu'il ait été traité historiquement par les philosophes, toujours il paraît se ramener au problème de l'existence du nécessaire, c'est-à-dire de notions soustraites à tout pouvoir effectif et conscient de l'esprit. Là où le savant comme le philosophe croient trouver du nécessaire, ils affirment qu'ils ont trouvé de l'objectif.

2. — La critique sceptique de la physique a bien vu cette liaison du nécessaire et de l'objectif, car elle a attaqué surtout l'existence d'éléments nécessaires dans les propositions physiques. Elle a essayé par tous les moyens de montrer d'une part que le raisonnement logique, le rationnel n'avaient aucune valeur en physique. Elle a soutenu que tous les principes de cette science avaient d'abord répugné à la raison humaine. Puis, d'autre part, elle s'est attachée à dissoudre l'expérience, à lui enlever toute fixité d'abord

en affirmant sa contingence, à lui enlever ensuite toute indépendance à l'égard des fonctions constructives et créatrices de l'esprit. La science est devenue, du fait de cette analyse dissolvante, une sorte de jeu esthétique, un art qui fuyait incessamment le réel. En entendant parler de l'idéalisme et du symbolisme de la science, œuvre du libre décret de l'esprit, on songe, malgré soi, aux théories ultra-symbolistes et ultra-idéalistes qui affranchissent l'art de tout contact avec le réel.

La philosophie contemporaine se trouve en face d'un problème qui s'est déjà présenté sous d'autres formes, dans la théorie de la connaissance. La critique de la fin du xix^e siècle a attaqué, en somme, la nécessité et la fixité des catégories kantienues, de même que la critique des nominalistes avait attaqué la réalité des universaux, et la critique de Hume, la nécessité et la réalité des intuitions cartésiennes. La nécessité des catégories était liée, pour Kant, à l'objectivité des lois naturelles. Celle-ci, pour lui, ne faisait pas de doute. La seule question que la raison avait à se poser, à son sujet, était celle-ci : Quelles sont les conditions impliquées par cette objectivité ? On sait la réponse de Kant : Ces conditions ne se trouvent pas dans une intuition immédiate de la substance. Elles viennent de l'esprit, des catégories *nécessaires* de la pensée. Dès lors, l'objectivité de la science physique devenait d'ordre relatif et phénoménal. Mais dans cet ordre relatif et phénoménal, elle était posée d'une façon définitive. Les lois naturelles étaient objectives parce qu'elles étaient *nécessaires*.

Or, la nécessité des lois naturelles, voilà ce que la philosophie de la fin du xix^e siècle a été amenée par divers courants à contester. La physique apparut aux regards des philosophes à la suite d'une critique qui souvent s'appuyait sur l'autorité des savants les plus qualifiés, comme quelque chose d'artificiel. La théorie de Kant, par là même, se trouva sapée par la base. Puisque les catégories étaient une explication rationnelle d'un fait, une sorte de déduction « *a consequente* », dès que le fait était mis en doute, l'explication devenait caduque ; toute la théorie ne pouvait être

qu'inutile et erronée, à mesure qu'on attaquait la nécessité des lois physiques, à mesure on démolissait son objectivité et l'existence des catégories destinées à fonder cette objectivité.

3. — On a vu comment les physiciens, à quelque école qu'ils appartiennent, ont répondu. Ce qu'il reste à dégager de l'unanimité de ces réponses, puisqu'elles ont toutes, en face des tentatives sceptiques, une partie commune, c'est leur sens général dans l'évolution historique de la pensée philosophique. On peut le définir comme il suit : elles reprennent en un sens nouveau la théorie des catégories ; elles la rajeunissent en lui donnant un sens plus concret et plus expérimental et en la fondant, non sur la dialectique, mais sur l'analyse des méthodes scientifiques et du développement de l'esprit.

Si ceci est exact, l'histoire de la physique contemporaine confirmerait d'elle-même les idées exposées dans l'introduction de ce travail et qui m'ont servi d'idées directrices : à savoir que l'esprit philosophique constitue une atmosphère dont la science ne sait, ni ne veut se passer, sans doute parce qu'elle ne le peut pas et aussi parce que l'esprit philosophique se trouve inclus dans la science. En montrant que la physique contemporaine est liée étroitement à une philosophie qui l'imprègne, et s'en dégagera forcément, comme la physique de la Renaissance avec le cartésianisme, comme la physique newtonienne avec le kantisme, on montre du même coup que l'esprit philosophique et l'esprit scientifique sont inséparables, et que l'évolution de la philosophie est parallèle à l'évolution de la science.

4. — La catégorie a toujours été une affirmation de la raison. Elle est de l'ordre du rationnel. La physique contemporaine ne considère comme nécessaire que le résultat de l'expérience. Tandis que la catégorie s'opposait à l'empirisme et était l'arme du rationalisme contre l'empirisme, dans la physique contemporaine la nécessité elle-même devient d'ordre empirique. L'expérience permet, en face des critiques qui essayent de faire rentrer la vérité physique dans le domaine de la croyance, des affirmations *catégo-*

riques et, sur le terrain du phénoménisme, une sorte de *dogmatisme* renouvelé. Les savants ne demandent plus de garantie à la raison, à des principes transcendants l'expérience sensible. En tout cas, s'il en est encore qui tiennent effectivement au rationnel, pour lui-même, qui admettent une efficacité propre de la raison, et ils sont peu nombreux, c'est en tant que métaphysiciens et non en tant que physiciens cherchant purement et simplement à dégager les leçons de la pratique scientifique. Mais la plupart professent que ce qui ne vient pas de l'expérience, ce qui dérive de la raison, est arbitraire¹.

Là où le rationnel intervient, il n'introduit pas le nécessaire, loin de là. Il introduit le contingent. Le résultat de cette interaction réciproque de l'esprit et des choses arrive quand même au définitif ; mais ce définitif vient des choses et non de l'esprit ; c'est ce en quoi les choses ont déteint sur l'esprit, et l'ont pour ainsi dire limité et contraint. Cette attitude est nette dans les écrits de Mach. Mach est nettement empirique, non seulement en ce qu'il reconnaît, dans l'expérience, le critérium unique et souverain de toute proposition physique, mais en ce que les principes généraux adoptés par chaque science sont le résultat d'une lente et inconsciente éducation de l'esprit par l'expérience. L'hérédité n'est même pas sans y jouer un rôle. Ce qu'il y a donc de nécessaire dans la théorie physique vient tout entier de l'expérience.

Ainsi, les contempteurs contemporains de la valeur objective de la physique avaient vu juste partiellement quand ils montraient que la plupart des lois physiques considérées aujourd'hui comme intangibles n'avaient jamais paru d'abord être exigées par la raison. Historiquement, chaque étape de la physique a rencontré comme réfractaires ou retardataires ceux qui se donnaient comme les champions du rationalisme. A chaque étape, les vues dogmatiques du rationalisme traditionnel n'étaient plus adéquates aux données scientifiques. Aussi la critique sceptique de la science

1. Exemple : la mathématique pour Poincaré ; la théorie physique (la théorie seulement) pour Duhem.

eut chaque fois raison de lutter contre le dogmatisme traditionnel, contre une forme vieillie du rationalisme.

Mais à son tour, le scepticisme a erré dans ces crises périodiques de l'esprit scientifique, lorsqu'il a pris pour la crise finale, pour la catastrophe ce qui n'était qu'une crise de croissance, une transformation évolutive. Il s'est contenté de détruire là où il fallait restaurer.

C'est alors qu'historiquement apparaît toujours une philosophie nouvelle, une systématisation nouvelle qui, sur le terrain déblayé par les justes critiques, reconstruit une théorie de la connaissance et une interprétation de la science plus adéquate, et rétablit un dogmatisme nouveau, en s'inspirant d'une analyse plus méthodique et plus exacte des sciences, telles qu'elles existent, et de leur esprit.

CHAPITRE II

Indication sur des notions d'expérience et de vérité dans la physique contemporaine.

1. Le positivisme modifié : il peut exprimer l'esprit de la physique contemporaine. — 2. Il a été travesti par la critique agnostique qui se réclame de son nom, bien à tort ; ses héritiers véritables, au contraire, s'efforcent par une théorie des catégories entendues en un sens nouveau, de fonder l'objectivité de la science, telle que les physiciens contemporains la conçoivent pour la physique. — 3. Comment on peut entrevoir l'établissement de cette objectivité : il faut d'abord concevoir la relation comme le donné objectif et nécessaire, le seul donné irréductible. — 4. Il faut ensuite expliquer comment se posent et se développent ces relations. Elles résultent d'une évolution nécessaire de notre être. — 5. La vérité dans sa signification évolutionniste. — 6. Une position nouvelle de la philosophie de la connaissance.

1. — Dans la période que traverse actuellement la physique, on ne voit pas encore de système synthétisant toutes les aspirations de la science de l'époque, comme l'ont été le cartésianisme et le kantisme. D'ailleurs, ces derniers systèmes n'ont apparu dans toute leur puissance, dans toute leur force de synthèse, qu'avec un recul historique sensible. Le philosophe n'est point prophète en son temps. Et il faut ajouter que peut-être avec la complexité croissante de la science, la systématisation deviendra de plus en plus hasardeuse. Mais ce que l'historien peut d'ores et déjà dégager, c'est tout un ensemble de vues philosophiques assez concordantes qui correspondent à peu près à l'attitude nouvelle de la science. Elles en expriment l'esprit philosophique. Et l'opinion générale ne s'y est pas trompée ; elle

a désigné l'ensemble de ces vues, la synthèse de ses tendances, la famille d'esprits qu'elles déterminent, par un même terme : le positivisme, en donnant à ce terme un sens infiniment plus large que celui qu'il possède lorsqu'on le restreint au système de Comte et à sa stricte observance.

Issu certainement de celui de Comte, de Taine et de Mill, issu aussi de Spencer, mais rajeuni, ce positivisme nouveau¹ garde de son état antérieur deux grandes idées directrices : le relativisme et l'empirisme de nos connaissances ; mais il précise, au point d'en faire presque une idée nouvelle, l'idée de ces catégories expérimentales que la science revendique comme un besoin actuel.

Elles paraissent renouveler le positivisme en formulant une théorie de la connaissance plus étudiée, en édifiant sur les critiques du rationalisme tel qu'il se présentait traditionnellement dans la seconde moitié du XIX^e siècle, un rationalisme nouveau. De même le cartésianisme ou le criticisme, avaient substitué au rationalisme routinier, ruiné par les attaques des sceptiques, un nouveau rationalisme.

2. — On peut dire que la critique sceptique contemporaine de la science est historiquement, elle aussi, sortie du positivisme comtien, mais en lui tournant le dos. Il n'y a rien là de surprenant puisque le système nouveau qui doit condenser les aspirations de la science d'une époque, fait siennes les critiques qui ont ruiné la conception antérieure et s'appuie sur elles. Seulement, si le point de départ est commun, le point d'arrivée est tout à fait opposé. La critique sceptique n'a fait qu'emprunter au positivisme des arguments de détail, mais les a utilisés dans un esprit général tout à fait différent. Elle les a poussés à l'extrême — ou à l'absurde, selon les opinions personnelles, — par une logique spécieuse. Elle les a détournés de leur véritable sens. Au contraire, la doctrine qui s'esquisse pour représenter l'esprit de la science contemporaine, a surtout emprunté au positivisme son esprit philosophique, ses ten-

1. Je crois donner à ce terme son véritable sens historique et critique, bien qu'on l'ait employé indûment pour désigner une tout autre doctrine — de même que le terme « nominalisme ».

dances profondes, et c'est à travers la philosophie anglaise du xix^e siècle, à travers Stuart Mill et surtout à travers Spencer, qu'on peut suivre sa formation et pour ainsi dire sa préhistoire. D'ailleurs, bien que Spencer utilise souvent les éléments d'une science déjà vieillie, surtout en physique, l'esprit général de son système¹ synthétise plusieurs des tendances caractéristiques de la science moderne, et peut-être ce système n'est-il pas aussi éloigné qu'on pourrait le croire de celui dont on va essayer de tracer les grands traits. On a eu une tendance à trop ignorer ou dédaigner le réalisme expérimental du philosophe anglais. Il semble bien pourtant que l'introduction de l'hypothèse évolutionniste dans la théorie de la connaissance soit un des éléments capitaux, et peut-être même le principe fondamental, susceptibles de transformer le positivisme pour le mettre en harmonie sur ce point avec les exigences de la physique contemporaine, et asseoir un rationalisme nouveau. Or, c'est à Spencer que nous en serions redevables.

Ce qui manque au positivisme de Comte, ce qui manque même à la doctrine de Stuart Mill pour être adéquate aux résultats actuels de la critique à laquelle les savants ont soumis la physique, c'est de n'avoir pas approfondi la théorie de la connaissance, c'est de n'avoir pas cherché à rétablir, sous une autre forme, une théorie des catégories. L'expérience objective n'est pas quelque chose d'extérieur et d'indépendant de l'esprit. Expérience objective et esprit sont fonction l'un de l'autre, sont impliqués l'un par l'autre, n'existent que l'un par l'autre². La théorie qui consiste à poser les relations comme dérivant de la nature des choses entre lesquelles ces relations sont établies et la théorie qui considère ces relations comme construites par l'esprit,

1. Voir notamment les *Principes de Biologie* ; et dans les *Principes de psychologie*, l'idée de la « correspondance » et l'usage qui en est fait. Comparer avec l'idée d'adaptation dans la psychologie scientifique contemporaine.

2. En émettant des idées analogues, le pragmatisme, s'il abandonne l'agnosticisme mystique vers lequel la mode le pousse, aura, lui aussi, comme la critique sceptique de la science, à laquelle il tient par des liens nombreux, rendu service au rationalisme expérimental de demain.

sont toutes deux artificielles et dialectiques. Jusque-là, on imaginait un donné : des éléments sensibles, des représentations atomes. L'esprit avait ensuite pour fonction d'établir des relations entre ces données ultimes. Et alors, à quoi attribuer la forme de ces relations : aux données, ou à l'esprit ? Mais on peut faire de la relation même l'objet réel de l'expérience. La formule : nous ne connaissons que des relations, devient exacte dans sa lettre. Les éléments de toute connaissance sont des relations.

L'expérience est un système, une relation de relations¹. La relation, voilà donc le donné. Ce sont les termes entre lesquels nous nous donnons la relation qui n'ont qu'une existence dérivée, secondaire, par rapport à la relation elle-même. A mesure qu'on les analyse, ils se ramènent toujours à des relations. Ce qui existe d'abord, ce qui est existence première, c'est la fonction. Les termes sont les moyens par lesquels s'exprime la fonction : ils sont définis par elle ou par d'autres fonctions. Ils tirent d'elles leur nécessité. Ce qui semble réclamé par la physique actuelle, ce qu'elle prétend trouver dans l'expérience et ce qui fonde son objectivité, c'est la relation nécessaire. Elle va donc d'elle-même vers une philosophie qui fait de l'objet un ensemble de relations. L'objet posé comme un ensemble de relations effectives, et l'on comprend de suite la nécessité et l'objectivité des lois physiques, plus généralement des lois scientifiques. Elles ne sont que la description de l'objet, et en même temps que sa description, sa pénétration complète et directe. Nous sommes de nouveau devant un univers diaphane pour la raison².

1. Ainsi se pourrait justifier l'espoir le plus lointain de toutes les sciences : trouver un principe unique dont les autres lois puissent être déduites, sans exception.

2. Painlevé a fait remarquer que, pour l'ensemble des faits qui constituent notre système solaire, la seule explication qui réponde au principe de causalité est celle qui admet le mouvement *absolu* des éléments du système par rapport à un trièdre de référence dont le sommet est au centre de gravité du système et qui s'oriente d'après les étoiles fixes les plus éloignées. Il importe d'observer que cette remarque — tout à fait dans l'esprit mécaniste — confirme nettement ce qui a été dit ici :

4. — La tâche de la philosophie est, d'ailleurs, loin d'être terminée. Il faudrait analyser encore ce fait ultime : l'expérience-relation, montrer comment il se pose. Et c'est alors que l'évolutionisme intervient utilement, au moins à titre d'indication. Toutes nos connaissances semblent pouvoir être considérées par la psychologie comme le résultat de l'adaptation de l'être au milieu. Toutes nos connaissances depuis les plus humbles, la perception-réflexe, jusqu'à la science-raison sont-elles alors autre chose que des habitudes ou des instincts, mais comme toute habitude ou tout instinct, dans la théorie de l'évolution, *les résultantes nécessaires et seules possibles*, des conditions dans lesquelles elles ont été contractées ? La relation qui est, dans notre vue, le fait véritable, le donné (au point de vue humain), n'est donc qu'une habitude nécessaire. L'ensemble de ces habitudes est, dans la *seule* langue que nous puissions comprendre, *ce qui est*.

L'évolution expliquerait comment il y a une vérité humaine sans doute, mais univoque, une vérité déterminée sans ambiguïté, et pourquoi un choix s'impose et doit s'im-

1° C'est l'expérience qui fonde cette explication, car, d'après Painlevé, ce serait un hasard étrange que de l'infinité des explications possibles l'explication présente fût *la seule* qui s'accordât à la fois avec le principe de causalité, et avec les données de l'expérience. D'ailleurs l'intuition du mouvement absolu n'est que le résultat d'une infinité d'expériences inconscientes.

2° Painlevé ne sort donc pas du relativisme expérimental, considéré comme il est entendu ici, c'est-à-dire comme l'*absolu* de la connaissance humaine.

3° Les conclusions fondées sur ce relativisme expérimental coïncident pratiquement avec toutes les conclusions du rationalisme, puisque l'interprétation de l'expérience est *univoque* et les met d'accord avec les exigences d'une pensée profondément imprégnée, comme la pensée moderne, par les idées évolutionnistes (historisme, psychologisme, sociologisme).

4° Le mot « absolu » ne doit pas faire illusion. Il s'agit bien ici de relations entre les éléments d'un système, et rien que de cela, (le mouvement peut-il être autre chose, à l'analyse ?) n'existant et n'étant défini que *par rapport* à ces relations, et par elles. Seulement, la relation n'est pas quelque chose de surajouté par l'esprit aux choses ; elle est elle-même une chose ; elle est *nécessaire et objective*, et il n'y a pas d'autre objet qu'elle, si bien qu'elle peut comporter le qualificatif *d'absolu*.

poser entre nos certitudēs. Même en admettant au début de l'évolution une contingence radicale, la connaissance pourrait peu à peu atteindre dans des directions déterminées une fixité, semblable à l'immunité biologique. Certaines façons de penser sont devenues nôtres, et s'opposent, à moins de détruire notre organisme pensant, à l'admission de ce qui n'est pas elles. La formule du principe de contradiction ne serait que la formule schématique de cette *imprégnation psychologique*.

Alors pourrait s'expliquer facilement ce fait, que la vérité souvent a choqué notre raison d'abord, a semblé irrationnelle : de même que notre organisme commence à repousser ce à quoi il n'est pas adapté et ne continue à vivre qu'en s'y adaptant étroitement ensuite, jusqu'à s'en rendre inséparable. Et le résultat de cette adaptation progressive constituerait précisément notre connaissance et notre science. Au lieu de dresser l'expérience en face de l'esprit, il faudrait les réunir intimement et retrouver empiriquement la vieille identité de la pensée et de la réalité, dans la notion élargie de l'expérience, pleine de nécessité en elle-même, puisque nous ne pouvons pas nous la représenter autrement qu'elle n'est, à moins de sortir de nous-mêmes. Ainsi, dans les limites de l'expérience et du relativisme, réclamés par la science, pourrait-on entrevoir comment on retrouverait le nécessaire et l'objectif, également indispensables à la science.

5. — La vérité serait le résultat d'habitudes invincibles d'une évolution nécessaire. Elle serait dans le devenir d'une évolution ; mais elle serait ; puisqu'elle se réaliserait et se compléterait constamment. Elle se ferait peu à peu nôtre, après nous avoir paru d'abord hostile, ou tout au moins étrangère. L'histoire de la science, continuant l'histoire psychologique de la perception et de la conception, serait l'histoire de l'acquisition de cette vérité, résultat humain et nécessaire d'une évolution humaine et nécessaire, dans les limites de l'humaine nature.

Empirisme radical, dogmatisme radical.

Exigences de l'expérience, exigences de la raison, deux

expressions qui ne marquent qu'une différence de points de vue, mais qui ont un contenu identique, qui ont *un seul* et même contenu. Le rationnel n'est que la formule abstraite des lois de l'expérience. L'expérience n'est que l'enveloppe concrète des catégories rationnelles. Elles sont deux moments dans l'histoire de notre notion du réel.

Les catégories elles-mêmes ont donc une évolution, puisqu'elles résultent de l'évolution; elles doivent, semble-t-il, prendre une signification historique; leur nature est psychologique et sociale, peut-être même biologique. Mais comme dans toute évolution, elles gardent une individualité, quelque chose d'identique et de continu à travers leurs transformations. Elles progressent en se précisant dans un sens relativiste, en s'assouplissant de plus en plus pour n'exprimer que les exigences de l'expérience, sans plus. La substance n'est plus que la constance des relations, ce fait qu'il y a quelque chose de constant et qu'expriment la conservation de l'énergie et ses lois d'équivalence. La cause n'est plus que la fonction, la concomitance des variations. Le déterminisme naturel se réduit à la constatation de faits semblables, à l'analogie, qui permet la déduction par composition et non plus par identité d'essence et par implication.

Le fait ne se distingue plus du droit, car il se laisse transformer en droit. Ce paradoxe peut être la maxime d'une philosophie nouvelle: ce sera dans un rationalisme nouveau, caractérisé par sa foi en la science expérimentale, la synthèse de l'empirisme et du rationalisme anciens.

Il est très vraisemblable que nous n'épuiserons jamais toutes les relations de l'objet. En ce sens, l'évolution qui nous mène vers la vérité ne laisse pas entrevoir de terme: elle est indéfinie, et c'est d'ailleurs là un des caractères essentiels de toute évolution. La vérité totale, si nous la considérons au point de vue de l'extension, ne sera pas atteinte. La ruine du vieux mécanisme ontologique, de la théorie de la simplicité des lois de la nature, qui posaient les éléments réels avec lesquels on recomposait tout le reste, ne signifie pas autre chose au point de vue philosophique.

Mais la physique contemporaine et le mécanisme actuel ont maintenu la théorie de l'unité de la nature, tout en posant contre l'ancien point de vue, l'idée de son *indéfinie complexité*. Chaque fait n'est ce qu'il est que par une infinité de relations. Seulement, ces relations sont liées entre elles comme les rouages d'un mécanisme. Chacune d'elles est intelligible, et la science a le pouvoir de les comprendre une à une. Le fait continue à être *machine*, c'est-à-dire accessible à notre déterminisme rationnel, dans ses moindres parties. Cette adaptation de notre pensée au réel, quoique se faisant et progressant chaque jour, ne sera sans doute jamais achevée. Il n'en reste pas moins que ce qui est fait est fait. La science expérimentale s'étend comme un édifice que l'on continue, sans que jamais les parties anciennes — bien qu'on les répare quelquefois — ne cessent de former, avec les parties nouvelles, un ensemble harmonieux. Pour avoir toujours besoin d'être étendue plus loin, elle ne cesse pas d'être science, c'est-à-dire vérité. Celle-ci n'est limitée qu'au point de vue de l'extension, mais non de la compréhension.

6. — La philosophie contemporaine s'est battue à peu près tout entière contre une difficulté fondamentale. Le flot montant de l'historisme et du psychologisme a renversé les anciens points de vue abstraits et statiques. La notion du devenir a été restaurée avec une ampleur et une profondeur qu'elle n'avait jamais connues. L'évolution, l'activité dynamique, les variations infinies de la qualité, l'éminente dignité de la pratique, voilà les principales nouveautés philosophiques de la fin du xix^e siècle. L'empirisme toujours plus nuancé et plus subtil aboutit au fidéisme, à la suprématie de la croyance, lui qui jadis avait été la grande machine de combat du scepticisme contre les affirmations de la métaphysique.

N'a-t-on pas, au fond, fait dévier petit à petit et par des nuances insensibles le sens réel du mot « expérience » ? Replacé dans ses conditions d'existence, dans la science expérimentale qui la précise et l'affine, l'expérience nous ramène à la nécessité et à la vérité ; l'empirisme rejoint

ce rationalisme qui ne veut pas dépasser la science, mais l'exprimer dans sa plénitude.

Seulement, le mouvement de réaction contre le rationalisme métaphysique et transcendant n'aura pas été stérile. La critique qu'on lui doit prépare une synthèse philosophique qui concilie en les absorbant dans un point de vue supérieur les thèses extrêmes. Oui, la pensée humaine a une histoire qui compte lorsqu'on veut l'apprécier ou l'analyser ; et cette histoire, c'est, depuis que la science existe, l'histoire des sciences qui en est le centre. Oui, la pensée ne peut être saisie que comme une activité sans cesse agissante et sans cesse variable. Oui, l'utile, la pratique, entendus au sens le plus noble, ont guidé et guideront à travers tous les accidents de l'adaptation, l'évolution de la pensée. Oui, tout part du fait pour revenir au fait. Mais sont-ce là des motifs pour nier la nécessité du fait ? Et si le fait est nécessaire, ne peut-on concevoir que cette nécessité s'exprime dans le sujet en un ordre rationnel, en une raison ? Le point de vue pratique est-il alors autre chose que l'envers du point de vue théorique ? L'adaptation, par cela qu'elle existe, ne pose-t-elle pas, même à travers la marche la plus hasardeuse qu'on veuille concevoir un progrès et un terme ? Les variations historiques ne laissent-elles pas se dessiner à mesure une trame, et les nuances infinies des faits, deviner peu à peu la matière dont ils sont tissés ? En réhabilitant l'instinct, l'inconscient, la spontanéité, la contingence, l'activité vivante, le développement historique, dédaignés par un rationalisme étrié et mort, pourquoi établir qu'ils sont incompatibles avec la raison, la conscience claire, la nécessité, l'ordre définitif, le progrès dans la vérité ? Comme le montre l'évolution de la science physique et de ses principes, l'instinct et la contingence historique sont l'enveloppe de la nécessité théorique et de la raison.

La science, et la science dans sa forme la plus haute, celle qui absorbe l'expérience dans un système rationnel, qui achève l'intuition empirique et sensible, par l'organisation logique, donne un système équivalent à la réalité.

Hyperboliquement, d'autres peut-être seraient possibles, puisqu'il ne s'agit que d'équivalence. Mais historiquement et réellement, il est le seul qui puisse exister pour l'homme, car il est le seul qui résulte de l'adaptation de son organisation physique et mentale, à l'organisation du tout. Il est la seule manière dont l'espèce puisse se représenter ce qui existe. Et comme elle n'en peut pas sortir, ce système est vrai, parce qu'il est humainement nécessaire et universel. Il est pour l'homme la vision des choses *sub specie æterni*. Toute question sur un absolu transcendant est oiseuse. L'existence du monde est pour nous immanente à notre façon de le concevoir.

Vu, et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

Vu, le 27 Novembre 1906.

*Le Doyen de la Faculté des Lettres
de l'Université de Paris,*

A. CROISSET.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	Pages I
-------------------	------------

INTRODUCTION

Délimitation du problème et intérêts divers qu'il présente.

I. — *Objet de l'étude : son intérêt historique ; — contribution à l'histoire des sciences par l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Deux problèmes principaux dans l'histoire des sciences : l'histoire du contenu de la science, et l'histoire de l'esprit de la science. — 2. Point de vue particulier de ce travail : l'esprit des sciences physiques contemporaines en général, en insistant particulièrement sur la question centrale des idées des physiciens contemporains sur la valeur objective de leur science.

1

II. — *Intérêt philosophique des études relatives à l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Rapports de la science et de la philosophie: — 2. La philosophie a pour objet essentiel de fonder en droit la connaissance qu'élabore, en fait, la science. — 3. La continuité entre la science physique actuelle et la philosophie

4

III. — *Rapports de la logique des sciences avec l'histoire de l'esprit scientifique.*

1. Conception traditionnelle de la logique des sciences. — 2. Conception qu'il sera utile de lui substituer. — 3. Conclusion générale sur la logique des sciences et l'utilité par rapport à elle du présent travail.

9

IV. — *Intérêt actuel d'une étude sur l'esprit général de la science physique.*

1. Généralités sur l'état de la physique contemporaine. — 2. La crise de la physique contemporaine. — 3. La question que l'état général de la physique contemporaine amène à poser : La physique est-elle une science objective ? — Intérêt général de cette question.

15

PREMIÈRE PARTIE L'ANALYSE DES DOCTRINES

LIVRE I

Le Mécanisme traditionnel.

Pages

CH. I. — EXPOSÉ SOMMAIRE DU MÉCANISME TRADITIONNEL

1. La physique traditionnelle avait l'ambition de remonter de cause en cause jusqu'à la matière réelle. La théorie physique faisait partie intégrante de la science expérimentale et avait une valeur ontologique. — 2. La théorie physique était par suite construite tout entière avec des éléments figurés. Ces éléments figurés n'étaient autres que les éléments retenus par la mécanique. — 3. Importance de ces caractères pour différencier la théorie physique d'alors et les formes actuelles de la physique théorique. — 4. En quel sens il faut entendre que la théorie physique de la première moitié du XIX^e siècle avait une valeur ontologique. — 5. Exposé sommaire des grandes lignes de cette physique : a) Ses éléments ; b) Ses principes, statique, dynamique des solides et des fluides, pesanteur ; c) Constitution de la matière : théorie cinétique des gaz ; d) Théories mécaniques de la chaleur, de la lumière, du son, de l'électricité des phénomènes chimiques ; e) Conclusions : généralités sur l'esprit général de la physique au milieu du XIX^e siècle. 23

CH. II. — LES FAITS QUI INCITÈRENT A CRITIQUER ET A RÉFORMER LE MÉCANISME TRADITIONNEL

1. La fondation de la thermodynamique expérimentale. — a) Le principe de la conservation de l'énergie ; b) Le principe de Carnot-Clausius. — 2. Modifications entraînées par ces principes dans la théorie physique. — a) Au point de vue de la forme ; b) Au point de vue du contenu. — 3. Comment ces modifications sont acceptées par les physiciens. La résistance au mouvement réformiste. Classification rapide des diverses attitudes adoptées par la physique contemporaine. 40

LIVRE II

La critique du mécanisme, l'attitude hostile. (Théories conceptuelles)

CH. I. — L'ÉNERGÉTIQUE DE RANKINE

1. — *Partie critique.*

1. Les généralités préliminaires de la critique de Rankine : a) Sciences concrètes et sciences abstraites ; b) Méthode abstraite et méthode hypothétique. — 2. Avantage de la méthode

abstractive : La mécanique est le type parfait d'une science construite à l'aide de cette méthode. — 3. La physique classique qui se présente comme une extension de la mécanique est, au contraire, le type d'une science construite à l'aide de la méthode hypothétique. Inconvénients de cette méthode . . .	49
II. — <i>Partie positive.</i>	
1. Généralités : Ce que devrait être la physique : une nouvelle application de la méthode abstraitive. — 2. Conséquences de ce point de vue : la réforme de la physique et la théorie physique conceptuelle.	56
III. — <i>Développement de l'énergétique de Rankine.</i>	
1. Les substances et les accidents. — 2. Accidents complexes et accidents élémentaires indépendants. Langage péripatéticien, esprit moderne. Rapports étroits entre l'esprit de la nouvelle conception et l'esprit de la conception mécaniste. — 3. Cette analogie se continue à mesure qu'on descend dans le détail du système : accidents actifs et passifs : force, masse, travail, quantité de travail ; énergie actuelle et potentielle. — 4. Elle devient absolument manifeste avec la notion de l'homogénéité de l'énergie. — 5. Cette notion posée, de l'aveu de Rankine lui-même, nous sommes conduits à toutes les conséquences de l'hypothèse mécaniste.	60
IV. — <i>Conclusions.</i>	
1. Empirisme ou plutôt expérimentalisme de la physique, dans la conception de Rankine. — 2. Objectivité des résultats expérimentaux. — 3. La théorie physique tire toute sa valeur de l'expérience ; elle n'est qu'une méthode pour la représenter. — 4. Autonomie de la théorie physique ; pas de métaphysique. — 5. Rankine est le continuateur de la tradition mécaniste, il ne fait que la modifier dans le sens de l'esprit qui l'a suggérée elle-même, dans le sens de l'esprit moderne. — 6. En quel sens il convient d'interpréter la modification la plus profonde que Rankine apporte au mécanisme, la forme conceptuelle de la théorie : en un sens nominaliste directement issu de l'esprit de la Renaissance.	65

CH. II. — LES IDÉES DE MACH ET L'ÉNERGÉTIQUE D'OSTWALD.
LES BASES EXPÉRIMENTALES DE LA PHYSIQUE NOUVELLE

I — *Introduction.*

1. Coup d'œil général sur l'œuvre de Rankine. — 2. Rapports entre l'œuvre de Rankine et l'œuvre de Mach et d'Ostwald : l'évolution de la physique conceptuelle. La transformation de la méthode s'accompagne d'une transformation de la conception générale de la physique : Mach et Ostwald dégagent essentiellement les rapports de la conception nouvelle avec l'expérience

73

II. — *Partie négative.* — *Point de vue général de Mach.*

1. Certaines expressions de Mach pourraient faire croire à une théorie sceptique. — 2. Ce serait une méprise : la foi de

Mach en l'objectivité de la physique ; son scepticisme ne vise que la thèse particulière du mécanisme traditionnel	76
III. — <i>Partie négative</i> (Suite). — <i>Les artifices de la conception générale du mécanisme.</i>	
1. Le mécanisme est un préjugé historique. — 2. C'est une hypothèse artificielle : a) Il n'existe pas de phénomènes purement mécaniques ; b) Les autres branches de la physique suggèrent des notions analogues et parallèles aux notions fondamentales de la mécanique, et non des notions qui dérivent de ces dernières. — 3. Le mécanisme ne s'impose pas comme la forme la plus commode des théories physiques. — 4. La liaison des phénomènes physiques aux phénomènes mécaniques n'implique pas la réductibilité des premiers aux seconds. — 5. Le mécanisme n'est pas par lui-même une bonne formule d'investigation. Il n'est qu'une application partielle, qui fut momentanément heureuse, de la bonne formule	78
IV. — <i>Partie positive.</i> — <i>La conception générale de la physique conceptuelle et énergétique envisagée dans ses attaches avec l'expérience.</i>	
1. La théorie conceptuelle est plus objective, plus naturelle que le mécanisme. Elle est un nouveau progrès dans la voie concrète ouverte par le mécanisme. — 2. Comment elle se situe dans le développement de l'esprit traditionnel de la physique moderne : elle est au mécanisme ce que la géométrie analytique est à la géométrie synthétique, ce que la mécanique analytique de Lagrange est à la mécanique géométrique de Descartes et de Newton. — 3. Les grandes lignes de la physique conceptuelle et énergétique. — <i>La nature des principes</i> : ils sont des résidus d'expériences très nombreuses, et plus ou moins conscientes, ce qui explique leur objectivité et leur fécondité. — 4. Le travail de l'esprit sur les données de l'expérience : <i>l'économie de la pensée.</i> — 5. Sens exact de cette formule : la pensée s'adapte à l'expérience. — 6. <i>L'unité de la systématisation scientifique.</i> — Le développement de la science n'est contingent qu'en apparence ; une forme déterminée de science s'impose universellement, l'évolution est au fond unilinéaire. — 7. La systématisation reste profondément imprégnée d'empirisme. — 8. <i>L'analyse des sensations.</i> La sensation est déjà abstraction : la science n'est que la continuation de ce processus d'abstraction : mais ce processus n'a rien d'arbitraire. Il est un moyen de pénétrer la réalité, et reste en contact constant avec elle. L'abstraction n'est pas une idéologie qui altère la réalité : c'est une <i>analyse des sensations.</i> — 9. Comment il faut entendre la relation causale. . .	87
V. — <i>L'énergétique d'Ostwald.</i>	
1. Ostwald réalise dans le domaine de la physique les idées de Mach sur la science en accentuant la direction indiquée par Rankine. — 2. L'équivalence des énergies. — 3. Les variations d'énergie constituent toute la réalité de la sensation. — 4. L'énergie est l'invariant universel, le fond commun et réel de toute sensation. — 5. L'objectivité de la physique énergétique d'Ostwald.	118

VI. — *Conclusion.*

1. Objectivité de la physique. — 2. Son expérimentalisme. — 3. Adaptation de l'esprit aux choses. — 4. L'esprit de la Renaissance continue à animer l'énergétique. — 5. Le mathématisme de l'énergétique. 124

CH. III — LA STRUCTURE DE LA THÉORIE PHYSIQUE
DANS LA PHYSIQUE CONCEPTUELLE : LES IDÉES DE DUHEM

I. — *Le point de vue de Duhem.*

1. L'œuvre des prédécesseurs de Duhem dans l'édification de la conception conceptuelle de la physique. — 2. Ils négligent l'analyse de la structure de la théorie physique ; c'est à cette analyse que s'attache Duhem. — 3. *La critique philosophique de la science et les théories physiques* : les empiriques purs. — 4. Les sceptiques 126

II. — *Partie destructive de la critique de Duhem.*

1. Critique de la théorie physique dans le mécanisme traditionnel. — 2. Toute espérance de voir les progrès de la science la justifier un jour est illusoire 137

III. — *L'œuvre positive de Duhem.*

1. Un point de vue plus général doit être substitué à celui de l'ancienne mécanique. — 2. Développement du nouveau point de vue : la structure de la théorie physique. — 3. La part de la convention dans cette structure. — 4. Les caractères de la physique théorique d'après Duhem : a) son formalisme ; b) la condition expérimentale limite de ce formalisme. — 5. Le formalisme arbitraire n'est pas inutile. — 6. Il n'est pas purement subjectif : ses rapports avec l'expérience. — 7. Valeur de la théorie physique : la théorie ne peut être un décalque de l'expérience. — 8. Mais elle doit de plus en plus s'acheminer vers un schème pleinement représentatif de l'expérience, vers une *classification naturelle* des phénomènes 140

IV. — *Conclusions.*

1. La conception de la théorie physique que nous présente Duhem n'a rien qui contredise l'*expérimentalisme* de la nouvelle école. — 2. Objectivité de la science physique. — 3. Valeur méthodologique de la théorie. — 4. Autonomie de la physique. — 5. Dans quel sens, *sur le terrain scientifique*, Duhem entend restaurer les notions qualitatives. 160

LIVRE III

La critique du mécanisme (Suite)

L'attitude simplement critique.

CH. I. — PRÉLIMINAIRES

1. *Le point de vue général qui caractérise cette attitude : Pas de propositions reconstitutives* : indifférence envers la forme particulière de la théorie dans l'état actuel de la science ; aussi penchant vers la conservation des formes traditionnelles, tant qu'il ne sera pas impossible de faire autre-

ment. On se bornera à en déterminer la valeur exacte, à n'être pas dupe des représentations théoriques. — 2. Point de départ historique de la critique de la science physique : *la critique des mathématiques*. — 3. Tandis que dans l'école conceptuelle, on tend à assimiler physique et mathématique, la critique des mathématiques de Poincaré conduit à les différencier. La raison de cette différenciation doit être cherchée dans la forme des hypothèses employées dans ces deux ordres de science. — 4. Le premier genre d'hypothèses, les conventions arbitraires sont caractéristiques des sciences mathématiques. — 5. Conclusion : Les mathématiques ne sont pas objectives. — 6. L'expérience n'y a aucun rôle générateur. 169

CH. II. — CRITIQUE DES SCIENCES PHYSIQUES

1. Le second et le troisième genres d'hypothèses (le premier étant la convention mathématique) caractérisés tous deux par leur dépendance — bien qu'à un degré différent — de l'expérience : l'hypothèse véritable, l'hypothèse qui ne sera jamais fausse. — Sur l'une, se fonde la physique expérimentale ; sur l'autre, la physique théorique. — 2. *La physique expérimentale* : Elle est tout entière l'expression d'une nécessité objective. En quoi consiste cette nécessité ? Le fait scientifique et le fait brut. — 3. Sens des expressions *vrai* et *faux*. — 4. La prévision. — 5. Tout part des faits bruts pour y revenir. — 6. *La physique théorique* : Passage de la physique expérimentale à la physique théorique. — 7. a) La physique mathématique est un prolongement de la physique expérimentale ; b) et un prolongement *nécessaire* : l'unité et la simplicité de la nature. 8. La généralisation se fait en physique ~~au moyen~~ des mathématiques. — L'homogénéité de la nature. 177

CH. III. — CRITIQUE DES SCIENCES PHYSIQUES (Suite)

LA NATURE DES PRINCIPES

1. *Généralités* : Poincaré ne propose pas une sécession. —
2. Ses critiques seront même, en général, acceptées par les mécanistes contemporains. 189
- I. — *La critique des principes. Les divergences avec le mécanisme traditionnel.*
 3. *Généralités* : La difficulté soulevée par la physique mathématique : les deux termes physique et mathématique semblent incompatibles, d'après les prémisses posées. — 5. Comment elle est résolue. — 6. La nature des principes : Les principes de la physique mathématique sont, à un point de vue, des notions analogues aux notions mathématiques : le troisième genre d'hypothèses (les hypothèses qui ne pourront jamais être fausses) permet de soustraire la physique théorique à la révision continuelle de l'expérience, et de lui donner une rigueur et un aspect mathématiques. — 7. Mais, à un autre point de vue, ces principes psychologiquement se fondent sur l'expérience. — 8. En quel sens il faut entendre la « commodité » qui les a fait choisir, et la liberté de ce choix 190

II. — *La validité des principes. — Rétablissement de l'accord avec la doctrine classique.*

9. Résumé des conclusions de cette analyse. — 10. Les principes n'ont pas à être vérifiés par l'expérience, car ils sont posés comme des conventions par l'esprit. Ils seront donc éternellement vrais, étant éternellement intelligibles. — 11. Et pourtant ils sont objectifs, parce que la raison les a créés sous la pression des exigences de l'expérience. Le mécanisme ne dit rien de plus et ne pourrait rien demander de plus. — 12. Comment se précise le sens à donner à la formule que les principes seront toujours vérifiés. — 13. La fortune des principes. — 14. Contradiction apparente entre la théorie de Poincaré sur les principes de la physique et la fragilité des hypothèses de la physique. Elle se résout par la remarque que ce qui est fragile dans les théories est secondaire ; les relations qui forment l'ossature de la théorie mathématique restent fixes. — 15. Il y a donc lieu de considérer à côté des hypothèses du troisième genre, qui sont toujours vérifiées, un quatrième genre d'hypothèses qui dérivent de celles-là, puisqu'elles ne sont que le moyen de les appliquer : les hypothèses complètement indifférentes, qui ne seront jamais ni vraies, ni fausses, et qui, même contradictoires entre elles, peuvent coexister. Nouveau rapport qui en résulte avec l'esprit traditionnel de la physique. Nécessité d'hypothèses figuratives, sinon de *telle* hypothèse figurative. La différence qui subsiste, c'est que ces hypothèses sont nécessairement et toujours relatives, tandis qu'elles avaient une valeur ontologique dans le mécanisme traditionnel. 198

III — *La relativité de la physique.*

16 Sens vrai du relativisme de Poincaré : c'est plutôt, comme pour l'école conceptuelle, un positivisme expérimental. — 17. Les principes du mécanisme traditionnel et l'énergétisme. Ils se coordonnent et les seconds complètent les premiers, là où ceux-ci deviennent stériles 200

CHAP. IV. — CONCLUSIONS RELATIVES A L'ÉCOLE CRITIQUE

1. La valeur objective de la science. — 2. Le maintien de l'esprit traditionnel de la physique moderne, en écartant simplement la valeur ontologique des théories physiques. — 3. La réalité des rapports et le règne de la quantité. — 4. Vue d'ensemble. 210

LIVRE IV

Les continuateurs du mécanisme, les hypothèses figuratives

CH. I. — GÉNÉRALITÉS

1. Alors que le mécanisme subissait les critiques dont on vient de retracer l'histoire, la plupart des découvertes nouvelles de la physique étaient dues aux hypothèses mécanistes,

au sens général du mot, et celui-ci ralliait encore presque tous les savants de laboratoire. — 2. Opinion de *Kirchhoff*, *Helmholtz*, *Du Bois-Reymond*, *Maxwell*, *lord Kelvin*, etc. — 3. Définition provisoire du terme : hypothèse mécaniste et mécanisme, dans la physique contemporaine. — 4. Pourquoi l'esprit mécaniste peut être considéré encore comme représentant l'esprit général qui anime les travaux des physiciens proprement dits : la critique du mécanisme a été, en effet, l'œuvre des mathématiciens et des mécaniciens ; elle est donc faite d'un point de vue extra-physique. — 5. Raison de ce fait : l'intime union ; à l'époque actuelle de la physique et de la mathématique. 219

CH. II. — LES TRAITS FONDAMENTAUX DU MÉCANISME ACTUEL

I. — *Le rôle de l'expérience.*

1. Continuité directe et immédiate de l'expérience et de la théorie. — 2. Possibilité de l'expérience cruciale dans toutes les hypothèses physiques acceptables. — 3. Le mécanisme n'a pas besoin de chercher à prouver l'objectivité de la physique. 234

II. — *Les principes de la physique.*

4. La généralisation et la nature des principes. Ils sont le décalque de l'expérience. — 5. L'existence d'hypothèses contradictoires, loin d'être une objection à cette vue, en est au contraire une confirmation : méfiance du raisonnement. — 6. *La validité des principes de la physique.* — 7. Ce qui la fonde, c'est au fond l'unité empirique de la nature, quelle que soit la complication incontestable et croissante des apparences superficielles. — 8. Le mécanisme n'en admet pas moins un progrès dans la synthèse mécaniste, non que les principes puissent être complètement renversés, mais parce qu'ils reçoivent de l'expérience des extensions nouvelles ou sont complétés par des principes nouveaux. — 9. En dernière analyse, les principes de la physique sont définitifs, dans les limites où l'expérience les a confirmés ; mais seulement dans ces limites. Définitifs dans leur cercle, ils ne sont pas exclusifs d'autres principes ou de modifications nouvelles, dans un cercle plus large. — 10. *Réalisme des principes* : La théorie physique doit être construite en terme de représentations sensibles, c'est-à-dire au moyen d'éléments réels tirés de l'expérience. Ces éléments sont ceux sur lesquels l'expérience nous fait toujours retomber, quand elle s'applique aux phénomènes physiques : *des mouvements*. C'est pourquoi la physique reste en continuité avec la mécanique. — 11. L'« expérimentalisme » du mécanisme. — 12. Exemple tiré des idées de Maxwell sur la chaleur 237

III. — *Les éléments figurés.*

13. *Les éléments de la théorie physique.* Leur réalisme : Si les principes sont les données expérimentales, les rapports qu'ils énoncent doivent être supportés par des éléments réels. Ils appellent nécessairement une substructure figurée. — 14.

Opposition, sur ce point, du mécanisme et des doctrines précédemment examinées. Le mécanisme continue directement l'esprit de la Renaissance : l'unité profonde du réel et de l'intelligible. Cette unité à elle seule suffirait à imposer l'emploi d'éléments figurés, dans la théorie. — 15. Ce que sont les éléments objectifs de la théorie physique. — 16. Nominalisme de la théorie mécaniste. — 17. *Homogénéité de la matière*. — 18. Ce n'est pas, comme on le croit souvent, un postulat, mais une conséquence de la doctrine mécaniste. — 19. Le règne de la quantité. Le mathématisme physique. — 20. Quantité et qualité — 21. Unité de la nature. En quel sens le mécanisme entend cette dernière expression. — 22. *L'objectivité du mécanisme*. Le mécanisme *croit* à la *réalité* de la physique théorique, dans le même sens que l'humanité *croit* à la *réalité* du monde extérieur. — 23. Les *hypothèses* dans le mécanisme : moment *nécessaire* de la méthode ; ce qui a pu faire naître des objections peu fondées contre l'objectivité de la physique mécaniste. 251

CH. III. — LES TENDANCES ACTUELLES DU MÉCANISME COMPARÉES A SES TENDANCES ANTÉRIEURES ET AUX TENDANCES DES AUTRES THÉORIES DE LA PHYSIQUE.

1. *Le mécanisme antérieur était dogmatique*, intransigeant, pénétré d'absolu. — 2. Le nouveau mécanisme est critique, souple, pénétré de relativisme. — 3. Raisons de cette transformation : a) Les bouleversements amenés par les découvertes nouvelles ; b) La part faite de plus en plus grande à l'hypothèse. — 4. *Phénoménisme du mécanisme actuel*. — 5. Quelles différences subsistent alors entre le mécanisme et les écoles précédentes ? a) Sur l'attitude phénoméniste il n'y en a aucune ; b) Mais il en reste d'abord une concernant le rôle de l'esprit dans la théorie physique ; c) Puis une seconde concernant la représentation figurative des éléments de la théorie ; d) Enfin une troisième : la primauté des représentations empruntées au mouvement dans les représentations physiques. — 6. *Le mécanisme actuel et l'atomisme*. Le vieux mécanisme s'est présenté le plus souvent comme n'admettant que les notions de masse et de mouvement, à l'exclusion de la notion de force. — 7. Cette restriction en a entraîné une autre : l'atomisme. — 8. Comment on devrait historiquement entendre le mécanisme. — 9. Comment en tout cas il doit être entendu actuellement : le système de physique théorique qui s'appuie sur la *représentation* du mouvement, et se trouve par là en continuité avec la mécanique. — 10. Les conséquences de cette définition : a) La remise à longue échéance d'une systématisation définitive ; b) Pas d'hypothèses trop détaillées ni trop minutieuses : Les modèles mécaniques ; c) Les équations différentielles, substructure essentielle de la représentation figurative du mécanisme, comme des représentations conceptuelles de l'énergétique. — 11. Conclusions générales sur le mécanisme contemporain 275

DEUXIÈME PARTIE CONSÉQUENCES PHILOSOPHIQUES

LIVRE V

L'esprit général de la physique contemporaine et la valeur de la science physique

Pages

CH. I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — L'ACCORD DES PHYSICIENS CONTEMPORAINS

1. *Objectivité de la science physique.* — 2. Les divergences des physiciens en matières théoriques et l'arbitraire prétendu de la science. — 3. L'ensemble de la physique, y compris la physique théorique, est étroitement limité par l'expérience. — 4. Celle-ci impose des conclusions sur lesquelles l'agent de la connaissance ne peut avoir de prise. — 5. Le consentement universel des savants, dans les conditions d'expérience identiques. — 6. Le sens que l'on peut donner actuellement aux termes *objet* et *objectif*. 307

CH. II. — SIGNIFICATION PRÉCISE DE LA VALEUR OBJECTIVE DE LA PHYSIQUE

1. Deux sens du mot *objectif*, sens intuitif et sens rationnel. — 2. Le sens intuitif cède peu à peu le pas au sens empirique. — 3. Mais il ne le cède pas sans résistance : le courant rationaliste. — 4. L'empirisme et sa notion de l'*objectif*. — 5. L'*objectivité* de la science physique doit être entendue nettement, d'après tous les physiciens contemporains, au sens empirique : Duhem, Poincaré. — 6. Part de l'esprit dans cet empirisme ; tous les physiciens la lui font ; mais le rôle de l'esprit n'a rien de catégorique. Tout ce qui est catégorique vient de l'expérience. 319

CH. III. — LE RELATIVISME DE LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

1. Influence de la philosophie sur la science dans un sens positiviste. — 2. La conception cartésienne de la science physique : son dogmatisme métaphysique. — 3. Le mécanisme traditionnel hérite de cette conception, même quand il se présente comme purement expérimental. — 4. La physique contemporaine s'oppose directement à cette conception : plus d'intuition intellectuelle : l'expérience est la mesure de la vérité : Ce qui ne veut pas dire que la physique contemporaine ne soit plus rationaliste. Mais la raison n'existe qu'en fonction de l'expérience. — 5. Le relativisme de la physique contemporaine : en quel sens il faut l'entendre. — 6. Les éléments dans la théorie mécaniste actuelle : ce ne sont plus des réalités, des positions, mais ils ne sont définis que par des relations. — 7. Vue d'ensemble sur le relativisme expérimental de la physique contemporaine 329

CH. IV. — RÔLE ET PLACE DE L'HYPOTHÈSE

1. Paradoxe : la physique ne veut être que le décalque de l'expérience, et jamais l'hypothèse n'y a eu un rôle plus

étendu. — 2. C'est que l'hypothèse et la liberté de l'hypothèse sont un moment essentiel de la méthode expérimentale, et caractérisent l'attitude positive vis-à-vis de l'attitude dogmatique préscientifique. — 3. Le double rôle de l'hypothèse dans la physique contemporaine. Elle est non seulement un instrument de découverte, mais encore le moyen auquel on est forcé de s'adresser en l'état actuel des choses, pour établir les fondements des théories physiques. — 4. L'évolution de la physique théorique : jadis on s'accordait sur les généralités ; on discutait sur les détails. L'expérimentalisme conséquent de la physique contemporaine au contraire s'accorde sur les détails, laisse en discussion les généralités. — 5. Il y a donc dans la science physique un résidu expérimental fixe, inaltérable, qui s'accroît sans cesse 341

CH. V. — RÔLE ET NATURE DES THÉORIES PHYSIQUES

1. Le problème posé par l'intime union de la partie théorique et de la partie expérimentale dans la physique contemporaine. — 2. Sa solution : la conception méthodologique de la théorie physique. — 3. La théorie physique est un instrument méthodologique à un double titre : pour exprimer, systématiser et pour découvrir. — 4. Physionomie nouvelle de la théorie physique sous cet angle. — 5. Conséquence : les éléments encore hypothétiques des théories physiques ne doivent pas être discutés au point de vue de leur objectivité : ce serait de la métaphysique et non de la physique. Il faut se borner à analyser leur rôle instrumental. — 6. Equivoque possible ; comment elle est évitée. — 7. La théorie physique systématise l'expérience pour la prolonger ; car pour être utile, il faut qu'elle repose sur l'acquis expérimental. — 8. *La multiplicité actuelle des théories physiques et l'unité idéale à laquelle elles aspirent*. Si la théorie physique est une méthode, on conçoit facilement pourquoi les théories physiques sont multiples et divergentes. — 9. On conçoit aussi comment, malgré cette multiplicité, l'unité et l'objectivité de la physique restent sauves. 350

CHAP. VI. — VALEUR DE SAVOIR DES SCIENCES PHYSICO-CHIMIQUES

1. Des deux points de vue auxquels on peut se placer pour estimer la valeur d'une science : théorique et pratique. — 2. Comment on s'est servi de la valeur pratique de la science pour critiquer sa valeur théorique ou valeur de savoir. — 3. Les physiciens, eux, n'ont au contraire jamais tenu qu'à la valeur théorique de leur science. — 4. Vérification de cette assertion pour les physiciens contemporains ; a) Duhem ; b) Mach ; c) Poincaré ; d) Le mécanisme. — 5. Les physiciens contemporains s'accordent même à dire que la science physique est la seule connaissance possible de la nature matérielle, quelle que soit sa relativité. — La valeur pratique de la science ne peut que dériver de sa valeur théorique et par suite la prouver. 363

CH. VII. — L'ACCORD DES THÉORIES PHYSICO-CHIMIQUES

1. L'argument sceptique de la diversité des opinions, et son rôle dans la critique philosophique contemporaine de la science physique. — 2. Cet argument ne correspond pas à la réalité des choses ; a) ni dans la physique d'autrefois ; b) ni dans celle d'aujourd'hui. — 3. Conclusion : L'unité du développement de la science physique. — 4. Les divergences tiennent à ce que la physique n'est pas encore très éloignée de la période des débuts. — 5. Unanimité des physiciens contemporains sur l'unité finale de la physique. — 6. L'identité du contenu de la physique même théorique, sous les divergences de forme. — 7. A quoi se réduit d'ailleurs le fond des divergences entre les théories physiques. — 8. La dualité actuelle des théories physiques concourt elle-même à l'unité finale de la science physique. — 9. « L'art c'est moi, la science c'est nous ». 10. L'anthropomorphisme de la science : son sens véritable. — 11. Conclusions générales. 370

LIVRE VI

Quelques indications relatives à la philosophie de la connaissance que paraît impliquer la physique contemporaine.

CH. I. — LIAISON ÉTROITE DE LA VÉRITÉ ET DE LA NÉCESSITÉ

1. Connaissance vraie signifie connaissance nécessaire. — 2. La critique sceptique a bien vu cette liaison du nécessaire et du vrai. Elle a cherché à la contester, reprenant en cela une tactique déjà souvent suivie par le scepticisme. — 3. La physique contemporaine maintient au contraire cette liaison et semble préparer une philosophie qui, de même façon et pour les mêmes raisons que le cartésianisme ou le kantisme, fera au nécessaire sa part. — 4. Seulement ce nécessaire paraît devoir être entendu en un sens plus expérimental. 385

CH. II. — INDICATIONS SUR LES NOTIONS D'EXPÉRIENCE ET DE VÉRITÉ
DANS LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

1. Le positivisme modifié : il peut exprimer l'esprit de la physique contemporaine. — 2. Il a été travesti par la critique agnostique qui se réclame de son nom, bien à tort ; ses héritiers véritables, au contraire, s'efforcent par une théorie des catégories entendues en un sens nouveau, de fonder l'objectivité de la science, telle que les physiciens contemporains la conçoivent pour la physique. — 3. Comment on peut entrevoir l'établissement de cette objectivité : il faut d'abord concevoir la relation comme le donné objectif et nécessaire, le seul donné irréductible. — 4. Il faut ensuite expliquer comment se posent et se développent ces relations. Elles résultent d'une évolution nécessaire de notre être. — 5. La vérité dans sa signification évolutionniste. — 6. Une position nouvelle de la philosophie de la connaissance. 391

